This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06644328 8

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.
1931

NEW YORK
PUBLIC
LIBRARY

950

Calorik

oder die

Lehre von der Wärme.

In

populärer Darstellung

von

Dr. W. F. A. Zimmermann.

NEW YORK PUBLIC LIBRARY

Mit 36 Abbildungen.

Berlin, 1856.
Verlag von Gustav Hempel.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
243008
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.
1921

NEW YORK
PUBLIC
LIBRARY

Inhalt.

Seite

Begriff des Wortes Wärme 3
Sinnentäuschung 3. Wärmeleiter 6. Wirkung der Wärme 7. Die Wärme ein Imponderabile 9. Wärmestoff 10.

Das Thermometer.

Erfindung des Thermometers 11
Drebbel 11. Sein Instrument 12. Streit um die Erfindung 13.

Verbesserung der Form 13
Die Thermometer der Academia del Cimento 14. Renaldini 14. Wiederaufgefundene Florentiner Thermometer 15.

Vergleichbare Thermometer 15
Fahrenheit 15. Reaumur 17. De Luc 18.

Thermometer für höhere Grade 20

Metallthermometer 20
Fundamentalversuch 20. Praktische Metallthermometer 21. Breguet's Metallthermometer 22. Compensationspendel 23.

Technische Anwendung der Ausdehnung durch Wärme . . 25

Princip der Thermometrie 28

Ausflußthermometer 29

Pyrometer 30
Petersen 30. Prinsep 32. Wedgewood 34.

Verfertigung der Thermometer 37
Das Calibriren 37. Das Füllen 37. Das Luftleermachen 38. Bestimmung des Gefrierpunktes 40. Bestimmung des Siedepunktes 41. Scaleneintheilung 42. Material für die Scala 46. Anfertigung einer Glasscala 47. Methode Glas zu ätzen 47.

Registerthermometer 50
Maximumthermometer 50. Minimumthermometer 51. Photographisches Registerthermometer 52. Beleuchtung desselben 53.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
243008
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.
1901

Inhalt.

Seite

Begriff des Wortes Wärme 3
Sinnentäuschung 3. Wärmeleiter 6. Wirkung der Wärme 7. Die Wärme ein Imponderabile 9. Wärmestoff 10.

Das Thermometer.

Erfindung des Thermometers 11
Drebbel 11. Sein Instrument 12. Streit um die Erfindung 13.

Verbesserung der Form 13
Die Thermometer der Academia del cimento 14. Renaldini 14. Wiederaufgefundene Florentiner Thermometer 15.

Vergleichbare Thermometer 15
Fahrenheit 15. Reaumur 17. De Luc 18.

Thermometer für höhere Grade 20

Metallthermometer 20
Fundamentalversuch 20. Praktische Metallthermometer 21. Breguet's Metallthermometer 22. Compensationspendel 23.

Technische Anwendung der Ausdehnung durch Wärme . . 25

Princip der Thermometrie 28

Ausflußthermometer 29

Pyrometer 30
Petersen 30. Prinsep 32. Wedgewood 34.

Verfertigung der Thermometer 37
Das Calibriren 37. Das Füllen 37. Das Luftleermachen 38. Bestimmung des Gefrierpunktes 40. Bestimmung des Siedepunktes 41. Scaleneintheilung 42. Material für die Scala 46. Anfertigung einer Glasscala 47. Methode Glas zu ätzen 47.

Registerthermometer 50
Maximumthermometer 50. Minimumthermometer 51. Photographisches Registerthermometer 52. Beleuchtung desselben 53.

Seite

Der Thermomultiplicator 54

Fundamentalversuch 54. Thermoelektrische Ketten 54. Die Thermosäule als Wärmemesser 55. Die Thermosäule als Wärmeleitungsmesser 57.

Ursache der Wärmeerscheinungen.

Wärmestoff 59

Zusammenhang von Wärme und Licht 60

Aehnlichkeit von Wärme und Schall 61

Quellen der Wärme.

Die Sonne 63

Wirkung der Sonnenwärme 63

Praktische Benutzung der Sonnenwärme 64. Rumford's Versuche und Rathschläge 66. Praktische Kleidung 67. Guter Rath für Wohnungen 67. Große Sonnenhitze 68. Brennspiegel 69. Klima 72. Vegetation 74.

Temperaturvertheilung 75

Thermometerbeobachtungen 77

Ursachen der Temperaturunterschiede 79

Die Nacht 79. Ausstrahlung der Erde 80. Abnahme der Wärme in der Höhe 81. Einfluß der Tageszeit 84.

Die Schneegrenze 86

Vegetation in der Höhe 89

Der Temperatur angemessene Bekleidung der Thiere . . 91

Biegsamkeit der menschlichen Natur 92

Die Vibrationstheorie 93

Zusammenhang des Schall, Wärme und Licht 93. Die Wellen des Aethers 94. Einwürfe gegen die Vibrationstheorie 96. Temperatur in der Tiefe 97. Das Innere der Erde 99. Wärmeverlust der Erde 100.

Wärmeerzeugung durch Compression 102

Wärmeerzeugung durch Reibung 104

Beispiele 104. Durch Reibung hervorgebrachte Schmelzhitze 105. Praktische Anwendung 106.

Chemische Verbindungen verschiedener Körper 107

Mengung und Mischung 107

Verdichtung bei chemischen Processen 108

Verbrennungsprozeß 110

Selbstentzündung 111

Homberg's Pyrophor 112. Selbstverbrennung von Menschen 113. Unmöglichkeit derselben 117.

Verbrennung durch chemische Mischung 119

Wasserstoff — Sauerstoff 120. Böse Wetter 121. Davy's Sicherheitslampe 122. Entzündung des Pulvers 123. Knallpräparate 124. Das chlorsaure Kali 125. Zündmittel 126.

Bedingungen der Verbrennung 129

Seite

Kohlensäure 130. Verschiedene Wärmeentwicklung verschiedener Substanzen 131. Einfluß des Sauerstoffes 132. Künstliche Temperaturerniedrigung 133. Menge der entwickelten Wärme von verschiedenem Brennmaterial 137.

Ursache der Wärmeentwicklung bei der Verbrennung . . . 139

Der Lebensproceß 140

Thiere 141

Die thierische Wärme 141. Winterschlaf 142.

Menschen 143

Ertragung großer Kälte 144. Die indischen Brahmanen 145. Widerstandsfähigkeit gegen Temperatureinflüsse 147. Das Erfrieren 149. Ertragung großer Hitze 150.

Ursache der thierischen Wärme 151

Aeltere u. neuere Ansichten 151. Athmungsproceß 154. Stoffwechsel 155.

Pflanzen 156

Elektricität 158

Der galvanische Strom 159. Der Magnetismus 160.

Verbreitung der Wärme.

Emanationstheorie 162

Vibrationstheorie 163

Euler 163. Der Aether 164. Wellenbewegung des Aethers 165.

Ausdehnung durch die Wärme 166

Gase 166. Flüssige Körper 168. Das Wasser 169.

Wirkungen der Wärme 171

Aggregatzustände 171. Siedhitze 172. Verdampfungswärme 176.

Wärmeleitung 180

Gute und schlechte Leiter 180. Biot's Versuch 181. Die Luft 183.

Specifische Wärme.

Begriff 185. Auffindung 186. Das Calorimeter 187. Wärmecapacität 189.

Verdunstungskälte 191

Gesetze der Strahlung 193

Reflex 193. Hohlspiegel 195. Strahlungsfähigkeit 197. Permeabilität 198.

Von der Wärme.

Begriff des Wortes Wärme.

Sehr wenig Worte haben eine allgemeinere Verbreitung als das Wort Wärme, mit sehr wenigen aber verbindet man so diffuse Begriffe als mit eben diesem. Tritt man während des heißen Sonnen- und Sommertages in ein schattig gelegenes Zimmer, so sagt man: „hier ist es schön kühl"; hat man sich eine halbe Stunde lang darin aufgehalten, so sagt man: „hier ist es kalt — hier ist es schauerlich kalt". Dieselbe Temperatur würde, wenn man nach mehrstündigem Aufenthalt im Freien an einem strengen Wintertage dasselbe Zimmer beträte, unerträglich heiß sein.

Der Keller hat, das weiß ein Jeder, im Winter eine bedeutende Wärme, es erfrieren darin keine Kartoffeln, kein Bier, kein Wein; wenn man aus der Kälte hineintritt, glaubt man in eine geheizte Stube zu kommen. Umgekehrt ist es — und dies weiß auch ein Jeder — im Sommer in den Kellern kalt, so daß die Getränke darin frisch bleiben, Blumen und Pflanzen nicht so schnell verwelken — und ein Keller, der diese Eigenschaften nicht hat, ist kein guter Keller.

Woher mag dies kommen? Nun nichts ist leichter erklärt, sagt die alte Schulphilosophie. Das Centralfeuer, welches unter unsern Füßen brennt (und worin die armen Seelen gemartert werden, die Hölle mit sammt ihren Anhängseln, Fegefeuer, Vorhölle u. s. w.) sendet furchtbare Hitze nach allen Seiten aus.

Durch die große Dicke der Erdschicht, welche dies glühende und brennende Innere umgiebt, ist die Wirkung nach außen allerdings sehr gemildert, aber sie macht sich doch deutlich bemerkbar. Im Sommer allerdings nicht, da ist die Erde locker, da sind Gänge und Spalten offen, da kann die Wärme des Centralfeuers leicht hinaus, aber im Winter, wo die ganze Erdoberfläche gefroren ist, da merkt man die Wärme des Centralfeuers, sie kann durch den gefrornen Boden nicht hinaus, sie sammelt sich unter dem-

selben, daher ist es innerhalb der Keller während des Winters so warm und zwar um so mehr, je strenger der Winter ist, je fester die Decke gefroren.

Alle diese Angaben, so scheinbar, man möchte fast sagen so augenfällig sie sind — wer wüßte nicht von seinem warmen Keller zu erzählen, der sich im Sommer in einen so schönen kühlen Keller verwandelt? — haben ihren Grund lediglich in dem ganz unbestimmten Gefühl, welches wir durch die Worte: warm, lau, kühl, kalt bezeichnen, d. h. genau genommen, sie sind grundlos, denn was auf einem so schwankenden Grunde, wie die Begriffe von warm und kalt, gebaut ist, hat ein schlechtes Fundament. Die ganze Erklärung von dem Centralfeuer ist lächerlich und ein Beweis, auf wie schlechten Füßen die Naturlehre stand.

So lange man noch keinen Gradmesser für die Wärme hatte, so lange natürlich konnte es nicht anders sein, denn es entschied sich Alles nach der Empfindung der Hand, diese aber entschied nach der Stimmung, in welcher ihre Haut sich befand. Unsere Sinne sind nicht physikalische Instrumente, welche unter allen Umständen gleiche Aussagen machen, es sind mit Därmen besaitete Instrumente, bei denen Feuchtigkeit und Trockenheit, Wärme und Kälte vom höchsten Einfluß ist.

Wir treten aus dem Sonnenschein in einen stockfinstern Hausflur, man erkennt nichts, nach und nach gewöhnt man sich nicht an die Abwesenheit von Licht, sondern an den geringern Grad desselben und nun kann man in dem stockfinstern Hausflur lesen. Wir haben eine Zauberoper, ein Ballet im Berliner Opernhause gesehen, die feenhafte Beleuchtung, die mährchenhafte Pracht und Schönheit hat uns entzückt, ja es ist doch schön, dieses Theater mit seiner brillanten Gasbeleuchtung! Die Vorstellung ist zwar noch nicht zu Ende, aber es ist hier sehr warm, wir wollen uns während des Zwischenacts ein wenig erholen, frische Luft schöpfen: siehe da, wir werden geblendet durch die Tageshelle, es ist zwar acht Uhr, aber die Sonne geht noch lange nicht unter, der Sonnenschein sticht gegen die brillante Gasbeleuchtung so gewaltig ab, daß wir beim Zurücktreten in die kurz vorher verlassenen glänzenden Räume abermals geblendet werden durch die Dunkelheit, welche darin herrscht.

Wir trinken ein Glas köstlichen Ungarweins, er ist lieblich, er ist süß wie Honig vom Hybla, er ist feurig wie Nectar, um sein zu großes Feuer in etwas zu mäßigen, essen wir ein paar Stücke Kuchen. Wo ist denn nun die Süßigkeit des Weins geblieben, hat man ihr vertauscht, ist das noch dasselbe Glas, aus welchem wir zwei Minuten vorher geschlürft? O ja, aber die Zunge ist nicht mehr dieselbe, sie ist umgestimmt: man ißt ein

Stückchen Brod und der Wein schmeckt so süß wie vorher, und wenn man einen guten Heringssalat ißt, so wird junger Rheinwein eben so süß schmecken als Ungarwein.

Dieselbe Stimmung und Verstimmung erleidet auch unser Gemeingefühl durch die Temperatur der Haut. Ist diese höher als gewöhnlich, so erscheint uns Vieles kalt, was uns unter andern Umständen warm erscheinen würde, eben so geht es umgekehrt, noch ärger aber mit starker Abkühlung, welche das Gefühl abstumpft, ja beinahe vernichtet. Der Brauer will Malz bereiten: er schüttet das nasse Getreide auf einen Haufen, es muß sich erwärmen, um den Keimprozeß und die Diastasebildung zu ermöglichen; nach einigen Stunden steckt er die Hand hinein, es ist noch nicht warm, nach einem halben Tage versucht er dasselbe, noch nicht warm, einen Tag später sagt ihm der Geruchssinn, daß sein Getreide schon brandig ist, schon in Verwesung übergeht. Es war Sommer, die Wärme im Schatten 24 Grad, die Temperatur des keimenden Getreides, 14 Grad, kam ihm kalt vor, weil seine Haut, anders gestimmt, sie nicht als warm, sondern als kalt empfand, da sie niedriger war; auch 20 Grad, die äußerste Grenze, bis zu welcher man das Getreide sich erhitzen lassen darf, ist ihm noch nicht warm, und wenn es so weit kommt, daß seine Haut von der Wärme als solche angesprochen wird, so ist es zu spät, das Getreide ist verbrannt.

Umgekehrt ist die Wintertemperatur geeignet, falsche Schlüsse auf ein schnelles Warmwerden zu begünstigen, schon 7 bis 8 Grad sagen dem Brauer, es sei jetzt warm genug, er schaufelt das Getreide um und läßt es nicht die Temperatur erreichen, welche zur Keimbildung nöthig.

Darum sagt das alte Sprüchwort sehr wahr: „Backen und Brauen geräth nicht allemal!“ Jetzt freilich ist das Sprüchwort nicht mehr wahr, denn man hat ein besseres Instrument als die Hand, man hat ein Thermometer, welches sich nichts weiß machen läßt und darum wird die Temperatur des Malzhaufens im Winter wie im Sommer auf gleichem Grade erhalten, allein unser Gefühl giebt uns davon nicht Rechenschaft.

Bis zu welchem Grade Kälte das Gefühl abstumpft, sehen wir an den chirurgischen Operationen, welche unter Einwirkung von Kälte, von Eisumschlägen ganz schmerzlos ausgeführt werden. Es soll das Bein über dem Knie, es soll der Arm abgenommen werden, man umgiebt den gesunden Theil eine Minute vor Beginn der Operation mit Eis oder Schnee und etwas Salz. Der Arm, das Bein verliert alles Gefühl und die Operation wird ohne alle Schmerzen vollzogen.

Täuschungen durch Leitungsfähigkeit.

Eben so täuscht uns dasselbe hinsichtlich der wärmeleitenden Kraft der Körper. Ein Stück Stein und ein Stück Eisen liegen vor unserm Fenster im Sonnenschein. Wir wollen den Stein in das Zimmer nehmen, das geht sehr gut, wir wollen dasselbe mit dem Eisen thun, wir fassen herzhaft an — und haben uns verbrannt. Wie ist das möglich? Es hat ja auf jedem der beiden Mineralien ein Thermometer gelegen, dies sagt aus, daß beide eine gleich hohe Temperatur haben, wie es auch nicht anders sein kann, da beide unter ganz gleichen Umständen den Einflüssen derselben Wärmequelle ausgesetzt waren. Ihre Temperatur ist auch gleich, nur giebt der schlechte Wärmeleiter (Stein) der Hand lediglich das ab, was auf seiner äußersten Oberfläche angehäuft war, indeß der gute Wärmeleiter (Eisen) aus seinem Innern immer frische Truppen nachrücken läßt, welche ins Gefecht treten, so wie die erste Reihe absorbirt ist. Auch hat die bessere Wärmeleitung des Eisens es gestattet, daß die Durchwärmung viel tiefer gedrungen ist als bei dem Ziegelstein und bei diesem immer noch tiefer als bei Holz.

Der Winter läßt uns ein anderes Experiment machen, welches schon die Schulkinder aus Neckerei gegen Unerfahrene mit vielem Glück auszuführen wissen. An sehr kalten Tagen faßt man die messingnen Thürdrücker nicht gern mit der bloßen Hand an, indeß die hölzerne Thüre ganz gut gehandhabt werden kann, deshalb sind in den nordischen Gegenden (Petersburg, Moskau) die Klinken gewöhnlich mit Tuch überzogen.

Die Schulknaben sagen zu dem neuen Kameraden: lecke einmal an den Drücker, du wirst sehen, wie süß das schmeckt; ist die Kälte auf 18 bis 20 Grad gestiegen, so sitzt dem armen Gefoppten die Zunge sogleich fest, sie ist ihm angefroren, der Speichel ist zu Eis erstarrt und es kostet wohl ein Stück Haut, sie los zu bekommen.

Es ist auch hier wie bei dem erhitzten Stück Eisen derselbe Vorgang. Das tief durch und durch erkältete Metall empfängt die Wärme der anfassenden Hand, giebt sie aber sogleich weiter an die inneren Schichten und fordert neue Wärme von der Hand, um sich bis zu der Temperatur derselben zu erheben. Das Holz der Thüre thut dies nicht, seine Leitungsfähigkeit für die Wärme ist so gering, daß es der tastenden Hand nur wenig Wärme zu entziehen braucht.

Dieser Sinn also, das Gefühl, das Getast, welches uns urtheilen läßt, die Leiche sei kalt und das Bett, auf welchem sie liegt, sei viel wärmer

— auch eine der vielen Windbeuteleien, welche uns die Sinne unaufhörlich vormachen — in seiner Unbestimmtheit, in seinen unsichern Aussagen, ist nicht geeignet, uns Aufschluß über Wärme und Kälte zu geben, und doch ist es dieser Sinn allein, durch welchen wir sie wahrnehmen, denn das Gesicht sagt es uns nicht. Ein Stück Eisen von 150 Grad Wärme sieht gerade so aus wie dasselbe bei 30 Grad Kälte, wir können auch an einem Thermometer nicht riechen, ob es 10 unter oder 50 Grad über 0 steht; wir können auch nicht hören, ob unser Schlittengeläute mehr oder minder kalt ist, wir sind mithin ganz auf das Gefühl angewiesen und so bleibt denn nichts übrig, als durch die schärfste Beobachtung herauszufinden, was für Gesetzen die Wärme (besser wohl gesagt die Wärmeveränderung) unterliegt und da finden wir, daß doch der Sinn des Gesichts und des Gehörs mithelfe, indem die Körper durch Wärme ausgedehnt, größer werden, durch Kälte in sich zusammensinken; in Folge dessen werden wir allerdings auch Wärme hören können, denn bei einem jeden Instrument, das musikalische Töne zu bilden bestimmt ist, kommt es auf die Dimensionen der tongebenden Körper an, ob sie höhere oder tiefere Töne geben. So wird denn eine Glocke, wenn sie bei einer gewissen Größe einen gewissen Ton genau angiebt, beim Kleinerwerden einen höheren, beim Größerwerden einen niederen Ton geben, wird sie aber abgekältet, so wird sie dadurch kleiner und wird sie erwärmt, so wird sie dadurch größer.

Auch noch ein anderer Umstand kommt hierzu, das ist die Vermehrung oder Verminderung der Elasticität. Je elastischer ein Körper ist, desto höher ist sein Ton bei sonst gleichen Umständen; wenn man also zwei ganz gleiche Glocken, die eine von Gußeisen, die andere von Gußstahl, oder zwei gleich lange und gleich starke Drahtsaiten, die eine von Messing, die andere von Schmiedeeisen (natürlich beide gleich stark gespannt), zum Tönen bringt, so wird man wahrnehmen, daß die minder elastische Substanz den tieferen Ton giebt. Dies ist der Grund, warum man bei den tafelförmigen Clavieren oder bei den Pianino's im Baß Messingsaiten hat, was bei einem Flügel, welcher die nöthige Länge bietet, gar nicht der Fall zu sein braucht.

Veränderung der Elasticität.

Nun wird aber durch erhöhte Wärme die Elasticität verringert (außer bei Luft- und Dampfarten, bei denen sie im Gegentheil eben dadurch gesteigert wird, vorausgesetzt daß sie sich in Gefäßen eingeschlossen finden und sich also nicht verhältnißmäßig zu ihrer gesteigerten Elasticität ausdehnen können). Wenn also von zwei Stimmgabeln von ganz gleichem Ton die

eine erkältet, die andere erwärmt wird, so wird die erstere um ein hörbares höher, die andere niedriger klingen, eine Erfahrung, welche man an jedem Winterabend im Schauspielhause machen kann, indem die vollkommen gut gestimmten Instrumente, namentlich die messingnen Blaseinstrumente, sich während des Gebrauchs im Orchester so bedeutend verändern, daß wir während der Zwischenakte die angenehme Musik, welche dem türkischen Gesandten zu Wien am besten gefiel, zu hören bekommen, nämlich die Musik des Stimmens.

Dies Alles sind Thatsachen und die Wärme ist's, welche dies hervorbringt, allein es ist der Effect doch so überaus gering, daß wir ihn durchaus nicht als gemäß für die Grade der Wärme benutzen können, denn nicht nur gehört ein sehr geübtes Ohr dazu, um an der Schwebung, an dem Schlagen zweier sonst vollkommen gleicher Stimmgabeln zu erkennen, daß sie verschieden klingen; es ist auch ganz unmöglich, an dieser Schwebung die verschiedenen Grade der Temperatur zu schätzen und wenn es möglich wäre, so würden wir sehr weitläuftige Wärmegrade haben, vielleicht solche, welche zehn der gebräuchlichen gleich kämen.

Eben so ist es mit der Ausdehnung. Gewiß wird durch die Wärme eines Sonnentags der Thurm auf der Pleißenburg in Leipzig, welcher die Sternwarte umschließt, dergestalt einseitig ausgedehnt, daß er schief ist und daß dasjenige Fernrohr, welches die mehrere tausend Fuß von der Stadt im freien Felde liegende Marke mit dem Meridianzeichen zeigte, nun nicht mehr genau trifft, was wäre das aber für ein Thermometer, was aus einem gegen 200 Fuß hohen Thurm und einem kostbaren Fernrohr mit Fadenkreuz bestände?

Gewiß ist auch, daß, wenn wir ein Auge dafür hätten, wir im Laufe eines Sommertags durch die sich ändernde Temperatur alle Thürme, nicht bloß den Leipziger, ja alle Häuser, wie sich nach und nach die Sonne vom Aufgang durch Mittag zum Niedergange wendet, ungleich hoch und schief sehen, daß wir alle dünnen, durchwärmbaren Gegenstände höher und dicker, bei Nacht niedriger und dünner werden sehen müßten, denn dies geschieht Alles in der Wirklichkeit. Allein wir haben eben kein Auge dafür und darum bemerken wir gar nichts davon, bis wir so kostbare Fühlhebel wie große Fernröhre daran legen oder an kleinere Sachen, wie Metallstangen ein Aehnliches, wirkliche Fühlhebel von großer Feinheit bringen, was denn mitunter äußerst schwierig wird.

Wärmeſtoff.

Es iſt demnach in der Natur etwas vorhanden, das ſich mit allen Körpern verbindet, doch mit einigen ſchwerer, mit anderen leichter, das in einige Körper tief eindringt, andere nur oberflächlich berührt, das durch einige Körper hindurch geht, ohne ſie beſonders zu afficiren, von anderen dagegen beinahe gänzlich aufgehalten, nicht durchgelaſſen wird; es giebt etwas in der Natur, deſſen Verbindung mit den Körpern ſie ausdehnt, viele derſelben aus dem feſten in den flüſſigen Zuſtand verſetzt, alle flüſſigen Körper aus dieſem Zuſtande in den luftförmigen (Dämpfe) überführt, die Elaſticität der ausdehnbaren Körper, der Luftarten vermehrt und diejenigen feſten Körper, welche nicht flüſſig werden, nicht ſchmelzen, zerſtört, verbrennt; es iſt alſo dieſes Etwas, deſſen Abweſenheit — nein, ſo kann man nicht einmal ſagen — deſſen Vorhandenſein in geringerer Menge aus flüſſigen Körpern feſte, aus luftförmigen flüſſige macht, ein gewaltiges chemiſches Agens. Aber was iſt es denn eigentlich, wie ſieht es aus, von welcher Droguenhandlung bezieht man es, was koſtet das Pfund, iſt es feſt, flüſſig oder luftförmig?

Wer kann dieſe Fragen beantworten? Wir zählen die Wärme zu den Dynamiden, zu den Imponderabilien, den unwägbaren Stoffen. Wägbarkeit iſt ein erſtes Erforderniß zur Erkenntniß eines Körpers, dieſes hat die Wärme nicht; ſie iſt alſo kein Körper, keine Subſtanz. Wenn aber die Wärme ſich mit andern Körpern verbindet, ſie größer macht, ſie in Flüſſigkeiten, in Dämpfe verwandelt, ſo muß ſie doch ein Körper, eine Subſtanz ſein, denn wir ſind gewohnt, dieſe Veränderungen mit Körpern vor ſich gehen zu ſehen, wenn wir andere Körper zuſetzen. Wenn wir Harz mit Terpentinöl, Weingeiſt, oder wenn wir Salz, Zucker mit Waſſer ꝛc. verbinden, ſo ſchmilzt die feſte Subſtanz gleichfalls, wenn wir Queckſilber mit Gold oder mit Zinn verſetzen, ſo ſchmilzt auch hier das feſte ſtarre Metall; es iſt alſo eine Wirkung, durch einen greifbaren, wägbaren Körper hervorgebracht, die unter andern Umſtänden durch die Wärme hervorgebracht wird, welche wir nicht greifen, nicht wägen können.

Es iſt ſomit ſehr ſchwierig zu ſagen, was Wärme ſei, eine Definition davon zu geben, da wir ſie nicht als flüſſigen oder ausdehnbaren Körper darſtellen, meſſen, wägen können, da ſie nur, verbunden mit andern Körpern, nie ſelbſtſtändig auftritt, ja da wir noch immer nicht einmal ſo weit ſind, alle Eigenſchaften dieſes räthſelhaften Dinges oder Undinges zu kennen, viel weniger ſie zu erklären, da noch immer neue Thatſachen entdeckt werden, welche früher völlig unbekannt waren.

Da man indeſſen doch etwas haben muß, woran man das Ding faſſen kann, ſo hat man als Handhabe, als Griff, als Stiel zu dem ſonſt unbekannten Dinge den Namen „Wärmeſtoff“ gewählt und ſtellt ſich vor oder thut ſo als ob man ſich vorſtelle, der Wärmeſtoff wäre eine Subſtanz, in jedem Körper in größerer oder geringerer Menge vorhanden, mit jedem Körper verbunden und wäre die Urſache vieler ſeiner Eigenſchaften. Man nimmt darum mit Recht an, es gäbe keine Kälte, dieſe wäre nur Mangel an Wärme und ſo weit unſere Experimentirkunſt reicht, läßt ſich dies ſogar beweiſen, anſchaulich machen. Eis nennen wir kalt, ein Jeder weiß, daß Waſſer bei einer gewiſſen Temperatur gefriert, welche Temperatur eben davon ihren Namen hat (Gefrierpunkt), er weiß aber auch, daß es noch viel kälter werden kann, Eis muß alſo wärmer ſein als etwas viel Kälteres. Die Kälte geht ohne alle künſtliche Mittel in hohen nördlichen Breiten bis zum Gefrieren des Queckſilbers. Dies iſt ſo kalt, daß ein Stückchen, auf die Hand gelegt, ſofort eine ſchmerzhafte Blaſe verurſacht, welche einer Brandblaſe ähnlich ſieht und eben ſo weh thut — es iſt dies ein ruſſiſcher, etwas froſtiger Spaß.

Gefrornes Queckſilber iſt aber warm im Vergleich mit gefrornem Salpeteräther. Zum Schmelzen jedes Dinges braucht man Wärme. Wenn man ein Stück gefrornes Queckſilber auf ein Stück gefrornen Salpeteräther legt, ſo ſchmilzt der letztere, das Queckſilber aber wird noch etwas kälter und etwas feſter, härter als es war. Das gefrorne Queckſilber hatte alſo noch ſo viel Wärme übrig, um einem andern feſten Körper ſo viel abgeben zu können, als zur Schmelzung deſſelben nöthig war.

Aber der Wärmeſtoff, der ſchon ſeit Ariſtoteles in den Köpfen der Phyſiker ſpukt, iſt doch nicht einzeln darzuſtellen. Drollig genug nimmt es ſich allerdings aus, den berühmten Boerhaave erzählen zu hören: von zwei Eiſenſtäben, die ganz gleiches Gewicht haben, würde einer leichter, wenn man glühende Kohlen unter ihn halte, ſchwerer, wenn man ſie über ihm ſchweben laſſe (was negative Schwere oder abſolute Leichtigkeit, Streben ſich von der Erde zu entfernen, andeuten ſoll), oder wenn der Engländer Fordyce erzählt, daß eine Maſſe von 6 Loth Waſſer, die er in einem hermetiſch verſchloſſenen Gefäße gewogen, durch das Gefrieren um ½ Gran, 2 Pfund concentrirte Schwefelſäure durch das Gefrieren um 3 Gran ſchwerer geworden ſeien.

Dieſe Verſuche, ſo roh als möglich, durch Niederſchlagen aus der Luft oder durch chemiſche Verbindung mit den in der Luft ſchwebenden Dämpfen ganz begreiflich, ja noch viel auffallender werdend, gaben auch einem damaligen Phyſiker Green einen genügenden Grund zur Annahme,

daß die Wärme etwas absolut Leichtes sei, negative Schwere besitze, von der Erde wegstrebe, andere aber zu der Aufstellung eines neuen Körpers, „des Elementarfeuers."

Wärmemaß.

Die ganze Wärmelehre lag auf eine so traurige Weise im Argen, weil man nichts hatte, um vergleichen zu können, die Hand, das Gefühl war etwas durchaus Trügerisches, wie wir bereits gesehen haben, und so entstanden die allerwunderlichsten Gedankenverbindungen über dies unsichtbare Agens.

Da ereignete es sich, daß ein Bauer in Nordholland, Drebbel, einen Sohn hatte, der nicht Lust bezeigte, oder wie der Vater meinte, zu dumm war, Landmann zu werden. Weil denn doch aus dem dummen Cornels gar nichts zu machen war, so schickte der Vater ihn zur Schule nach Alkmar. Um ein Gelehrter zu werden, dazu müßte er doch allenfalls Verstand genug haben. Der im Jahre 1572 geborne Knabe studirte vom zwanzigsten Jahre ab Philosophie, Medicin und Chemie und zeichnete sich bald als Gelehrter aus; sein Vater hatte auch noch die Freude, zu sehen, daß der sonst zu nichts brauchbare Cornelius Drebbel wirklich zum Gelehrten noch gut genug gewesen. Eine Erscheinung, welche keineswegs ganz vereinzelt steht, Seume war der Sohn eines Bauers aus Poserne bei Weißenfels, Herder der Sohn eines Cossäthen und Dorfschulmeisters aus Mohrungen in der Nähe von Königsberg, Sixtus IV. Sohn eines Fischers, hochverdient um die wissenschaftlichen Schätze des Vatikans, Sixtus V., selbst ein großer Gelehrter, der berühmte Schweine- und Seelenhirt, wie Jean Paul ihn nennt, war Sohn eines Bauern zu Montalto, der so arm, daß er seinen Knaben auf andern Bauerngehöften die Schweine hüten lassen mußte, des großen Dannecker Vater war nicht einmal Bauer, er war Bauerknecht, später Stallknecht in Stuttgart, dann Stallknecht in des Herzogs Diensten.

Der Bauernsohn Drebbel hatte wirklich was Tüchtiges gelernt, vor Allem aber beobachten, und so bemerkte er denn eines Tages, als er eine Glaskugel mit einem Glasrohr in ein Gefäß mit Wasser gestellt hatte, daß, je nachdem die Sonne darauf schien oder nicht, die Luft aus der Kugel hinaus oder das Wasser in die Röhre hineintrete. Daß die Wärme hier mit im Spiele sei, muthmaßte er sogleich und überzeugte sich von der Richtigkeit dieser Annahme dadurch, daß er dieselben Bewegungen der Flüssigkeit durch Annäherung seiner Hand hervorbringen konnte.

Nun construirte er sein Thermometer, das nach Leupold's Abände-

rung aus einer Kugel beſtand, an welcher, wie die Fig. 1 zeigt, eine zweimal gebogene Röhre angeſchmolzen war, in der ein Tropfen einer gefärbten Flüſſigkeit (Scheidewaſſer, um das Gefrieren zu hindern) befindlich, das jedoch Drebbel ſelbſt in ſeiner urſprünglichen Form gelaſſen, nämlich in der beigegebenen Fig. 2, in welcher *A* die Glaskugel mit dem Thermometerrohr, das oben offen iſt, darſtellt; *B* aber die Zuſammenſtellung

Fig. 1.

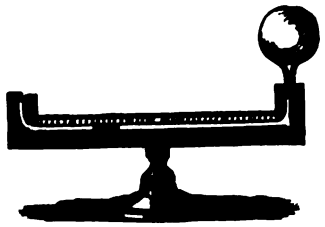
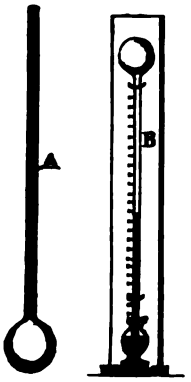


Fig. 2.



deſſelben mit dem Gläschen zeigt, in welchem etwas Scheidewaſſer, durch Meſſingſpäne grün gefärbt, befindlich, welches, nachdem man durch Erwärmung etwas Luft aus der Kugel getrieben, eine Stellung einnimmt, ungefähr der Mitte der Röhrenlänge entſprechend, da denn bei Erkältung der Kugel die Flüſſigkeit ſteigen, bei Erwärmung ſinken würde.

Damals war ein mächtiger Schritt vorwärts geſchehen, man hatte nun doch etwas, man konnte ſagen: hier ſteht das Inſtrument ſo, dort höher oder tiefer, trotz deſſen, daß mein Gefühl mich eines anderen belehren zu wollen ſcheint; allein nach dem jetzigen Standpunkte unſeres Wiſſens iſt es denn doch zu unvollkommen, um irgend einen anderen als den hiſtoriſchen Werth zu haben, das Erſterfundene zu ſein, denn man ſieht wohl, daß es nicht allein von der Wärme, ſondern auch von dem veränderten Luftdruck ſeine Stellung bekommt, und es wird bei gleich bleibender Temperatur durch den Barometerdruck vielleicht mehr verändert werden als bei gleichem Barometerſtande durch die gewöhnliche Lufttemperatur. Der Barometerſtand variirt in unſern Breiten beinahe um $\frac{1}{9}$ der ganzen Barometerlänge, es giebt Fälle, wo das Inſtrument über 29 Zoll und andere, wo es kaum über 26 Zoll ſteht. Wenn wir uns nun vorſtellen, daß die Luft in einer Kugel *von 2 Kubikzoll* um $\frac{1}{9}$ ihres Inhaltes ausgedehnt wird, ſo muß nothwendig

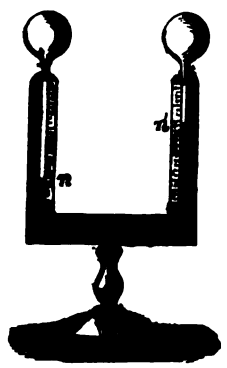
alle Flüſſigkeit weit aus der Röhre getrieben werden, denn dieſe hat nicht den funfzigſten Theil von 2 Kubikzoll Inhalt; eben ſo tritt bei erhöhetem Barometerſtande die Flüſſigkeit aus dem Glaſe durch die ganze Länge der Röhre bis in die Kugel hinein.

Dennoch war die Erfindung ſo bedeutend, daß die Engländer, die Franzoſen und die Italiener ſie dem Drebbel ſtreitig machten. Die Letzteren ſind zweifelhaft, ob der berühmte paduaniſche Arzt Sanctorius oder Galilei der Erfinder ſei, Poleni, Malphigi und Borelli nennen Sanctorius als ſolchen, dagegen Viviani es dem Galilei und P. Fulgentio gar dem Theologen Paul Sarpi zuſchreiben. Die Engländer nennen Robert Fludd als den Erfinder, die Franzoſen ſelbſt ſind zweifelhaft, welchem von den Caſſini's die Erfindung zugeſchrieben werden ſoll, wahrſcheinlich dem älteſten Joh. Dominique, wodurch ihm auch die Priorität über Drebbel geſichert würde.

Das Thermometer.

Als der Gedanke, die Ausdehnung eines eingeſchloſſenen Körpers zum Maßſtabe der Wärme zu brauchen, einmal gegeben, war es leicht, eine beſſere Form und einen beſſeren thermoſcopiſchen Körper als die Luft zu finden. Sie (die Luft) iſt zwar in vielen Hinſichten ſehr dienlich zu dieſem Zweck, allein der Einfluß der Atmoſphäre iſt zu groß, als daß er nicht ſtörend wirken ſollte, ſelbſt wenn ſtatt einer Kugel zwei gebraucht werden, wie die nebenſtehende Fig. 3 zeigt. Die beiden Kugeln von dünnem Glaſe, damit ſie leicht durchwärmt werden können, unterliegen nämlich dem unangenehmen Fehler, daß ſie bei geringerem Druck der Atmoſphäre als derjenige iſt, bei dem ſie gefertigt wurden, ſich ausdehnen. Wäre dies nun bei beiden abſolut gleich, ſo würde es keinen Nachtheil haben, da es jedoch ganz unmöglich iſt, die Glasdicke vollkommen bei der einen ſo wie bei der andern zu machen, da es ferner eben ſo unmöglich iſt, ihre Größen ganz gleich zu halten, ſo ergiebt ſich ſchon daraus die Unbrauchbarkeit für genaue Meſſungen, doch hat man dieſes Inſtrument noch bis zum Jahre 1830 als das feinſte, die leiſeſten Angaben machende angeſehen; es wurde dabei die eine Kugel geſchwärzt, um leichter empfindlich für die Durchwärmung zu werden, auch konnte man allerdings

Fig. 3.



die Annäherung der hohlen Hand bis auf 1 Fuß, vielleicht bis auf 1½ Fuß bemerken, doch auch nichts weiter, denn an ein Messen war gar nicht zu denken. Die Thermoelektricität hat jetzt ein besseres Mittel zur Entdeckung und Messung geringer Wärmegrade geliefert und mit diesem konnte Melloni so feine Untersuchungen machen, daß er sagen durfte: „die Wärmelehre schreibe sich erst von ihm her, früher sei man so verfahren, als ob man die Optik und deren Farbenerscheinungen mit einem hölzernen Prisma habe studiren wollen."

Die ersten Thermometer, welche auf das Drebbel'sche folgten, waren die der Florentiner Academia del cimento; sie hatten ungefähr die Gestalt der unsrigen, waren mit Weingeist gefüllt, wurden aber ganz ohne Plan und Zweck graduirt. Man trug die Thermometer gewöhnlich in einen tiefen Keller, bezeichnete den Standpunkt des gefärbten Weingeistes mit 0 und trug nun Grade von beliebiger Größe auf- und abwärts auf eine Scala, nannte die nach unten gehenden Grade der Kälte, die nach oben Grade der Wärme. Es war natürlich ein solches Verfahren ganz unverständig, allein was wir jetzt so nennen dürfen, nach Erlangung hundert neuer Hülfsmittel und nach Ausbildung einer Wärmelehre, welche doch erst in den letzten 20 Jahren ihre gegenwärtige Vollendung erhalten, das konnte man damals nicht so nennen.

Gegen das Ende des 17. Jahrhunderts that Renaldini, Professor zu Padua, den ersten Vorschlag, den florentinischen Thermometern eine vergleichbare Scala zu geben. Dazu ward als Nullpunkt diejenige Temperatur gegeben, welche Weingeist erhielt, der in einem Metallgefäße mit Eis umgeben stand. Die Grade sollten nun durch Mischung von $^1/_{12}$ siedendem mit $^{11}/_{12}$ eiskaltem Wasser, dann von $^2/_{12}$ siedendem und $^{10}/_{12}$ eiskaltem Wasser u. s. f. von Zwölftheil zu Zwölftheil bestimmt und mit 1, 2, 3 ꝛc. bezeichnet werden.

Obschon das Verfahren sehr große Mängel hat, so liegt doch darin die erste Idee, den Siedepunkt und den Frostpunkt des Wassers als feste Punkte zur Theilung des Thermometers anzuwenden, unzweifelhaft verborgen, da jedoch der Weingeist sich bei höheren Graden stärker ausdehnt als bei niederen, so wüßte man jetzt wenigstens nicht mehr, was die Thermometer aussagen, man würde ihre Sprache nicht verstehen, der Schlüssel zum Alphabet derselben wäre verloren, denn die Beobachtungen, welche Ferdinand II., Großherzog von Toscana, den Mönchen in den Klöstern übertrug, die ihre Langeweile gern auf solche Weise verkürzten und welche sich zu bändereichen Documenten für deren Fleiß aufgehäuft hatten, wurden doch unterbrochen, als Leopold von Medicis, um den Cardinalshut zu erhalten,

mit der Wissenschaft brach und die Academia del cimento dem Aufklärungshaß des römischen Hofes opferte.

Nur einige Bände jener wissenschaftlichen Annalen entschlüpften wie durch ein Wunder dem Vandalismus der Agenten der Inquisition, welche mit wahrer Henkerlust die Bücher verbrannten, die Instrumente zerschlugen, das Metall davon einschmelzen, und um Gott wegen des Mißbrauches, den die schnöde Welt von seinen Gaben gemacht, zu versöhnen, zu Glocken umgießen ließen.

Unter den geretteten oder vielmehr den Blicken der Inquisition zufällig entzogenen Büchern waren auch Thermometerbeobachtungen des Pater Raineri von dem Kloster St. Angeli zu Florenz und sie wären höchst schätzbar gewesen, wenn man ihre Sprache gekannt hätte, denn sie vermochten einiges Licht auf die Lösung der Frage zu werfen, welche man schon damals so wie jetzt häufig hörte, ob die Temperatur der Erde sich nach und nach verringere oder nicht.

Im Jahre 1828 wurde auf dem Boden eines Klosters bei der Reparatur des Daches eine Kiste, unter Schutt und Gerümpel vergraben, aufgefunden. Ein Schatz! glaubten die Arbeiter, fanden sich doch schrecklich getäuscht, als sie in der schnell erbrochenen Kiste nichts weiter fanden als allerlei hölzerne, messingne und gläserne Meßinstrumente; unter diesen befanden sich viele Thermometer der Academia del cimento, welche nach Paris gebracht und einem Herrn Libri zur Vergleichung der alten Scalen mit den neuen übergeben wurden.

Vergleichbare Thermometer.

Fahrenheit.

Es fand sich, daß diese Thermometer schon ziemlich gut waren, indem sie stets gleiche Grade zeigten. Durch mehrere hundert Beobachtungen wurde nun das Verhältniß zu unsern jetzigen festgestellt (der Nullpunkt liegt 14 Grad unter dem Gefrierpunkte, im schmelzenden Eise stehen sie auf 13½ — es ist demnach der Fahrenheit'sche Nullpunkt — und ihr 50. Grad entspricht dem 44. des Réaumur'schen Thermometers) und wenn mit denselben zu beobachten fortgefahren wäre, hätte man jetzt schon 200jährige Reihen von Beobachtungen haben können.

Allein die Unterbrechung mochte wohl, gegen die Rechnung der Inquisitoren, auch ihre Vortheile haben; sie führte auf andere Entdeckungen, zuerst auf Amonton's großes Normalthermometer und dann auf das viel bequemere des Danziger Kaufmannes Fahrenheit, welcher später in

Holland ansäßig, aus Liebhaberei sich der Physik widmete und der erste war, der Quecksilber als thermoscopische Substanz in seine Thermometer füllte und zwei feste Punkte annahm, nämlich den Siedepunkt und die größtmöglichste Kälte. Für diese hielt Fahrenheit die Temperatur des Winters 1709, er nannte den Punkt, auf welchem hierbei das Thermometer stand, 0 und theilte den Abstand zwischen diesem Punkte (den er jederzeit wieder hervorbringen konnte, wenn er Salmiak und Eis zu gleichen Theilen mit einander mischte) und den des siedenden Wassers in 212 gleiche Theile. Der Grund zu dieser Eintheilung lag in der Beobachtung, daß Quecksilber sich von seinem künstlichen Frostpunkte bis zu dem natürlichen des gefrierenden Wassers um $^{32}/_{11124}$ und bis zum Siedepunkte des Wassers um $^{212}/_{11124}$ seines Volumens ausdehnte. Den Siedepunkt des Quecksilbers setzte er dahin, wo das Quecksilber des Thermometers in siedendem Quecksilber stand und bezeichnete den Punkt mit 600, weil er glaubte, das Quecksilber dehne sich vom künstlichen Frostpunkte bis zur Quecksilbersiedhitze um $^{600}/_{11124}$ seines Volumens aus.

Da Fahrenheit seine Thermometer alle nach dem bestimmten Fundamentalabstande theilte, so hatten sie zuerst eine allgemein verständliche Sprache, wenn schon keine, die sich auf absolute Maße, sondern nur solche, die sich auf Vergleiche stützten; ein anderes Verfahren aber kennen wir leider noch nicht, wir haben keinen absoluten Nullpunkt, ja wenn wir nicht den eingebildeten niedrigsten Temperaturgrad von $13\frac{1}{2}$, auch nicht den des Winters vom Jahre 1829 auf 30, wo in Berlin die Kälte auf 28°, in Stuttgart auf 29° kam, sondern den jährlich wiederkehrenden des nördlichen Siberien von 45° unter 0 annehmen wollten, so ist doch dieser lange nicht der Anfangspunkt der Wärmescala, so ist jene Temperatur doch nur dem Sprachgebrauche nach „Kälte", keineswegs im physikalischen Sinne eine wirkliche Abwesenheit von Wärme, sondern nur ein geringerer Grad derselben und es ist der Physik gelungen, noch viel niedrigere Temperaturgrade künstlich zu erzeugen, theils durch Mischungen von Salzen und Säuren, die sich mit einander verbindend Flüssigmachungswärme (in der Kunstsprache „Liquefactionswärme") brauchen, sie also den umgebenden Körpern entziehen, oder, indem man gasförmige Körper verdichtet, durch Pumpen in einen kleineren Raum bringt, sie nun erkältet und dann durch Röhren auf andere zu erkältende Körper strömen läßt, da sie dann, indem sie sich ausdehnen, eine solche Wärme absorbiren, daß die von ihm getroffenen Körper auf 90° herabsinken.

Wer weiß aber, ob es nicht gelingen wird, noch weiter abwärts zu *kommen, und wenn es gelingt*, so bleibt die Frage, so bleibt das „wer weiß"

noch immer offen, denn es ist gar wohl möglich, daß wenn man auch 100 und 150 Grad abwärts gekommen, doch ein glücklicher Wurf einem späteren Experimentator auf 200 unter 0 gelangen läßt und Niemand kann sagen: „hier ist die Grenze."

Es ist daher auch thöricht, nach einem *solchen* Anfangspunkt für die Thermometerscala zu suchen, man giebt sich mit natürlich feststehenden Punkten zufrieden, nur muß man das oben berührte, daß es keinen *eigentlichen* Anfang giebt, sondern daß der gebräuchliche nur ein *verabredeter* ist, nicht vergessen, man darf daher nicht von „noch einmal so warm als gestern" sprechen, man darf nicht sagen: „Quecksilber braucht zum Kochen dreimal so viel Hitze als Wasser."

Das ist ungefähr so, als wollte der Speculant sagen, er habe seine Staatspapiere für die Hälfte von dem verkauft, was sie ihn kosten, wenn er sie mit 2 pCt. erhandelt und mit 1 pCt. losgeschlagen hat — sie sind ja nicht sein Eigenthum geworden für 2 Thaler, sondern für 102 Thaler und er hat sie nicht für 1 Thaler, sondern für 101 Thaler verkauft; es ist als ob man sagen wollte, *Hildebrandt* ist ein noch einmal so großer Maler als *Begas* oder Fräulein X ist nicht halb so schön als Fräulein Y.

Der geistreichste Vergleich ist wohl der von *Dove* gemachte: „es ist als ob man sagen wollte, ein Soldat, der 10 Zoll mißt, sei noch einmal so groß als ein anderer, der nur 5 Zoll mißt." Man vergißt die 60 Zoll, die beiden zukommen, hinter denen die Scala erst anfängt. Zudem ist dies bei dem Thermometer noch schlimmer, denn da ist keine bestimmte Größe unterhalb des Nullpunktes vorhanden (wir wissen nicht, wie lang die 5 Fuß sind, welche den obigen Zollen beigelegt werden müssen) und der Nullpunkt wird bald hier, bald dort hingelegt, deshalb benennen wir immer den Erfinder der Scala, nach welcher gezählt wird.

Fahrenheit's vergleichbare Thermometer machten großes Aufsehen und verbreiteten sich über die Ostsee- und Nordseeländer bis nach Kurland und England. Die Franzosen aber waren zu stolz, das Thermometer der barbarischen Deutschen anzunehmen, sie blieben bei dem schlechten Weingeistthermometer und suchten nur nach einer besseren Eintheilung.

Réaumur.

Réaumur erfand eine solche, indem er zum Fundamentalabstande die Temperatur des siedenden und die des gefrierenden Wassers nahm und da er, mit seinen sehr ungeschickt großen Thermometern operirend, gefunden

hatte, daß sich der Weingeist zwischen dem Frost- und dem Siedepunkte um $^{80}/_{1000}$ des ganzen Volumens des angewandten Weingeistes ausdehne, so theilte er diesen Fundamentalabstand in 80 Theile und das nennt man das Réaumur'sche Thermometer.

Höchst sonderbarer Weise nennt man die 80theiligen Thermometer überhaupt Réaumur'sche, sie haben aber nichts mit einander gemein als die 80theilige Scala, sie correspondiren auch gar nicht mit denen des französischen Gelehrten, denn Queckſilber dehnt sich bei gleicher Wärmezunahme gleichmäßig aus, Weingeist aber bei den letzten 10 Graden um doppelt so viel als bei den ersten 10. Wenn also das Weingeistthermometer auf 70 zeigt, so zeigt in derselben Temperatur das Queckſilber auf einen ganz anderen, niedrigeren, nämlich auf den 60. Grad.

Abgesehen aber von diesem Mißgriff (wofür Réaumur nicht kann, wer hieß uns eine solche Verwechselung, die er gar nicht beabsichtigte, machen), hat sein Thermometer große Fehler, der Frostpunkt des Wassers ist kein fester Punkt, der des siedenden Wassers eben so wenig, wenn man versäumt, den Barometerstand zu berücksichtigen. Der Weingeist kocht bei niederer Temperatur als das Wasser schon von Hause aus, da R. jedoch die Thermometer beinahe luftleer machte, so mußte der Weingeist noch viel früher als bei 80 Graden sieden, dies Alles machte die Instrumente sehr wenig brauchbar. Réaumur und Nollet gaben sich nun Mühe, die Fahrenheit'schen Thermometer mit den ihren in Uebereinstimmung zu bringen, allein sie gingen von der eitlen Ansicht aus, ihre seien die rechten und graduirten den guten Wärmezeiger nach dem schlechten, wodurch viel Täuschung hervorgebracht wurde, über welche die Gelehrten der damaligen Zeit sich oft mit nicht geringer Bitterkeit über die Franzosen beschwerten, welche sich trotz ihrer Vornehmthuerei die falschen Thermometer mit der betrüglich unrichtig gemachten Scala sehr theuer bezahlen ließen.

De Luc.

De Luc gelang es endlich, durch unzählige, mitunter sehr sinnreiche Versuche, eine Vergleichung zwischen dem 80theiligen Queckſilberthermometer und dem Réaumur'schen Weingeistthermometer zu Stande zu bringen. Er fand, daß wenn das Queckſilberthermometer 80 Grad zeigte, das Weingeistthermometer 100 gezeigt haben würde, wenn es bis dahin gegangen wäre, daß es also den Siedepunkt des Wassers in der Regel gar nicht

angab, daß 70 Grad den 85. des Weingeiſtthermometers entſprechen und daß vom 66. Grade des Queckſilberthermometers die Weingeiſtſcala beginne.

	Queckſilber-thermometer.	Weingeiſt-thermometer.
Siedepunkt des Réaumur'ſchen Weingeiſttherm.	66,6	80
	60	70,8
	50	56,8
	40	44,2
	30	32,6
Wärme des menſchlichen Körpers	29,9	32,5
	20	21,1
	10	10,6
Temperatur der Keller der Pariſer Sternwarten	9,6	10,25
Zergehendes Eis (dies iſt der rechte Nullpunkt)	0	0,8
Null des Réaumur'ſchen Thermometers	0,8	0
	10	8,5
	15	13,1
2 Theile Eis und 1 Theil Salz zerfließend . . .	17	15

Man ſieht hieraus, wie wenig es ſtatthaft iſt, dieſe beiden Thermometer mit einander zu verwechſeln, das Schlimmſte aber iſt, daß Réaumur ſehr verſchieden ſtarken Weingeiſt anwandte, wodurch ſeine eigenen Thermometer gar nicht einmal vergleichbar unter ſich waren.

Bei den Unterſuchungen über die Ausdehnung verſchiedener Körper bei verſchiedenen Graden ergab ſich, daß allein die Luft und das Queckſilber ſich bei gleichen Temperaturunterſchieden um gleich viel ausdehnten oder zuſammenzogen, dies gab de Luc die ſehr natürliche Veranlaſſung, das Queckſilber zur thermoſcopiſchen Subſtanz zu wählen und die Scala in gleiche Theile zu theilen; demnächſt beſtimmte er den Siedepunkt unter einem feſtgeſtellten Barometerdruck und wählte zum andern feſten Punkt nicht den des gefrierenden Waſſers, ſondern den des ſchmelzenden Eiſes. Dieſer letztere iſt unter allen Umſtänden gleich, der andere ſogenannte Froſtpunkt oder Gefrierpunkt iſt ſehr verſchieden, ja wenn bei ſtrenger Kälte Waſſer in einem hölzernen Gefäß ſehr ruhig ſteht, ſo kann es ſich bis 10 Grad unter 0 erkälten, ohne zu frieren. Es ſchießt alsdann plötzlich bei einer nur geringen Erſchütterung in langen Nadeln durch das ganze Gefäß an und die Temperatur ſteigt bis auf 0.

Solche Thermometer nach de Luc's Idee gefertigt und in 80 gleiche Grade von 0 bis zum Siedepunkt des Waſſers getheilt, nennt man in Deutſchland allgemein Réaumur'ſche Thermometer und ſie ſind in Deutſchland auch faſt allein im Gebrauch, ſie ſollten de Luc'ſche genannt werden.

In England hat man das deutſche Thermometer behalten, das von

Fahrenheit erfundene, in Frankreich aber bedient man sich nicht desjenigen, was dort von Réaumur oder de Luc aufgestellt ist, sondern man hat das schwedische, von Celsius angegebene, im Gebrauch. Dieses unterscheidet sich von den andern durch eine Eintheilung des Fundamentalabstandes in 100 Grade, sonst ist nichts weiter Verschiedenes daran. Jetzt macht man allgemein Queckſilberthermometer und in gewissen Grenzen ist diese Substanz auch zweifelsohne die beste.

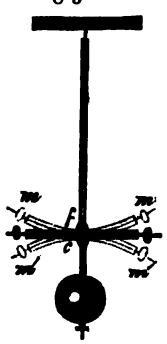
Thermometer für höhere Grade.

Allein es giebt Umstände, unter denen es nicht ausreicht. Das Queckſilber hat wie der Weingeist oder irgend eine andere Flüssigkeit einen Siedepunkt, höher wird man also das damit gefüllte Thermometer schon nicht graduiren, bei höheren Graden wird man es nicht brauchen können und es giebt noch sehr viel höhere Grade von Hitze als die des siedenden Queckſilbers. Umgekehrt gefriert das Queckſilber auch und seine Zusammenziehung in der Gegend des Gefrierpunktes ist so wenig seinem sonstigen Gange gleich, daß es förmliche Sprünge macht.

Um also die Grenzen der Meßkunst weiter zu strecken, wird man zu andern Hülfsmitteln seine Zuflucht nehmen müssen und diese glaubt man in den Metallthermometern gefunden zu haben.

Wenn man einen Streifen Messing und einen Streifen Stahl zusammenlöthet und zwar so, daß beide Stücke zusammen ein Lineal bilden, das seiner ganzen Länge nach auf einer Seite aus Messing, auf der anderen Seite aus Stahl besteht, so wird jede Temperaturveränderung auf die Gestalt dieses Streifens Einfluß haben, denn die verschiedenen Metalle dehnen sich verschieden aus oder ziehen sich verschieden zusammen und zwar dergestalt, daß es welche giebt, die sich noch einmal so stark vergrößern oder verkleinern bei gleichem Temperaturunterschiede als andere.

Fig. 4.



Wenn aber ein Lineal aus zwei so verschiedenen Substanzen zusammengesetzt ist, so wird es nur in einer Temperatur ganz gerade sein, in jeder andern wird es sich krümmen. Das Messing dehnt sich viel stärker aus als der Stahl; *mm* auf der obigen Figur ist eine solche Stange aus Messing und Stahl, abgeglichen, wie der mittelste Strich zeigt, bei 0 Grad, d. h. nach dem Zusammenschmelzen und Erkalten so lange gerichtet, gestreckt, gehämmert, bis *es bei 0 Grad eine gerade Linie* bildet. Die obere dunkel schattirte Schicht

ſei Stahl, die untere nicht ſchraffirte ſtelle den Meſſing vor. Steigt die Temperatur nunmehr über 0, ſo wird der untere Theil ſich ſtärker ausdehnen als der obere und da die Ausdehnung durch die Wärme eine ganz unwiderſtehliche iſt, der Stahl aber nicht nachgiebt, ſo krümmt das Meſſing denſelben, das ganze Lineal biegt ſich aufwärts nach *f*.

Umgekehrt zieht ſich auch das Meſſing in der Kälte ſtärker zuſammen als Stahl; wird die Temperatur alſo bedeutend erniedrigt, ſo befindet ſich nunmehr Stahl in dem Zuſtande, in welchem ſich vorher das Meſſing befand, der Stahl iſt der längere, er bildet alſo die Krümmung oder ſie neigt ſich nach *c* unten, wie vorher die Biegung nach oben ging.

Es hat dieſe Eigenſchaft, welche wir hier betrachtet haben, noch einen beſondern practiſchen Werth für die Uhren, den wir näher beleuchten wollen, doch um bei den Thermometern zu bleiben, ſo läßt ſich leicht einſehen, daß wenn eine ſolche Krümmung bei einer aus zwei Platten zuſammengeſetzten Feder ſtattfindet und der Befeſtigungspunkt des einen Endes bei *c* iſt, man das andere Ende, welches ſich von *m* nach *m'* bewegen kann, wird benutzen dürfen, um einen Zeiger in Bewegung zu ſetzen, der die Grade der Abweichung von der geraden Linie ſowohl bezeichnet als vergrößert, ſo daß man auch geringere Veränderungen in der Geſtalt der Feder meſſen kann.

Dieſe Punkte, welche der Zeiger andeutet, vergleicht man mit einem guten Thermometer und ſchreibt die Grade, welche man gefunden hat, zu den Strichen. Dies iſt dann ein Metallthermometer (ſ. die Fig. 5).

Fig. 5.

Gewöhnlich kleidet man dieſelben in die Form einer Uhr, krümmt deshalb die Feder von Hauſe aus, ſo daß ſie ſich in das Gehäuſe bringen läßt, und wie ein Secundenzeiger an der feinern Taſchenuhr, ſo bewegt ſich, durch ein kleines Zahnrad *r* getrieben, ein langer Weiſer *er* von Grad zu Grad; bei *o* drückt die Feder an den Trieb *s*, der das Zahnrad bewegt.

Dieſes Thermometer hat die ſehr ſchöne Eigenſchaft, nicht bei 30 Grad unter dem Gefrierpunkt auf einmal gewaltige Sprünge zu machen, man kann damit in ziemlicher Sicherheit bis 60 und 80 Grad unter 0 gehen, bis zu den Punkten, bei welchen die künſtliche Kältebildung ſtehen geblieben iſt, hat dies Thermometer die Phyſiker nicht verlaſſen.

Auch bei Erwärmung geht es über den Siedepunkt des Waſſers, der Oele, des Queckſilbers hinaus; nun aber ſind wir auch an ſeiner Leiſtungs-

grenze angelangt, denn in höheren Temperaturen laufen die Metalle an, werden weich, verflüchtigen sich die kleinen Quantitäten Oel, welche zur Befettung der Zapfen und Zähne nöthig sind, endlich würde natürlich das Instrument glühend werden und für immer unbrauchbar sein, man geht also damit natürlich lange nicht so weit und das Resultat ist schließlich, daß wir auch hier nur ein in seiner Wirkung sehr begrenztes Instrument haben.

Dennoch ist das Princip desselben so wichtig, daß man erstens noch ein anderes ungemein feines Thermometer daraus gemacht hat, zweitens ihn zur Regulirung der Uhren gegen die Störungen durch die Wärme eine Anwendung gegeben hat, welche bisher noch nicht auf andere Weise ersetzt worden ist.

Fig. 6.

Das Thermometer betreffend, so ist dasselbe von Breguet erdacht, der statt zwei Streifen drei von verschiedenen Metallen nimmt, einen ¼ Linie breiten Platinstreifen in der Mitte, einen Streifen Silber auf einer und eben solchen Gold auf der anderen Seite.

Wozu dreierlei Metalle, ist dem Verfasser nicht klar, es scheint, als müsse das dritte auf den Gang störend wirken, vielleicht ist das mittelste aber auch ganz indifferent und nur die beiden Metalle Gold und Silber sind die wirkenden.

Aus diesem schmalen, etwa 5 Zoll langen Streifen, wird über einen Dorn eine Spirale gewickelt, so daß das Gold inwendig ist, das Silber aber die äußeren Krümmungen bildet. Die Spirale ist so weitläuftig, daß die Schraubengänge derselben etwa $^1/_{12}$ Zoll von einander stehen. Das obere Ende ist, wie die Fig. 6 zeigt, an einem Metallarm befestigt, das untere hängt frei und hat einen Zeiger, welcher auf die Theilstriche eines Zifferblattes zeigt, in dessen Mittelpunkt die Spirale durch einen schwachen Dorn erhalten wird. Das Instrument ist äußerst zart, seine thermoscopische Substanz, die drei Metallstreifen, so fein, daß sie fast augenblicklich von der geringsten Temperaturveränderung ergriffen werden; steht das Instrument ruhig in einem kalten Zimmer und es tritt ein Mensch hinein, so sieht man schon auf die Entfernung von 6 Fuß eine Bewegung des Zeigers.

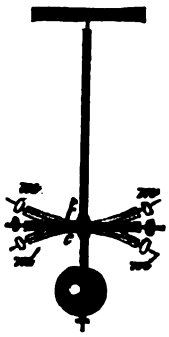
Compenſation.

Die beſprochene Anwendung zweier Metalle, die vereinigt ſich durch die verſchiedenartige Ausdehnung krümmen, betreffend, ſo kommt ſie bei Taſchenuhren wie bei Pendeluhren vor.

Wärme dehnt aus, Entziehung der Wärme rückt die Theile des erkälteten Körpers zuſammen. Eine Eiſen- oder eine Meſſingſtange wird durch Wärme länger, durch Erkältung kürzer. Der Perpendikel einer Uhr beſteht aus einer Metallſtange mit einem ſchweren Körper, einer Linſe daran, dieſer bildet den Schwerpunkt des Pendels. Auf die genaue ſich gleich bleibende Länge des Pendels kommt es aber vorzugsweiſe an, die Uhr kann ohne eine ſolche gleiche Länge nicht richtig gehen, ſie wird im Sommer, wo Wärme die Pendelſtange ausdehnt, zu langſam, im Winter, wo Kälte die Stange verkürzt, zu ſchnell gehen.

Um dies zu verhindern, bringt man an der Pendelſtange eine Vorrichtung an, wie wir dieſelbe bereits S. 20 betrachtet haben, es werden bloß die Arme des bei *c* befeſtigten metallenen Doppelſtreifens ſtärker gemacht, als man ſie für ein Thermometer machen würde, denn ſie ſollen die beiden Metallkugeln *m* und *m* tragen, vermöge deren der Schwerpunkt im entgegengeſetzten Sinne wie durch Verlängerung oder Verkürzung der Pendelſtange verändert wird. Rückt nämlich durch die Wärme die Pendellinſe von ihrem Aufhängepunkte oben um ein Geringes herab (weil die Pendelſtange ſich verlängert), ſo rücken dagegen die beiden Kugeln aufwärts nach *m* und *m*, hierdurch iſt das Gleichgewicht wieder hergeſtellt, denn der Schwerpunkt des Pendels liegt ja nicht allein in der Linſe, ſondern auch in den beiden Kugeln und die Stange ſelbſt, die keineswegs gewichtlos iſt, nimmt daran Theil; wird nun ein Theil der ſchweren Maſſe durch Wärme von dem Aufhängungspunkte entfernt, ein anderer aber eben dadurch dem Aufhängungspunkte genähert, ſo kann man es ſo einrichten, daß die beiden Effecte ſich vollkommen ausgleichen.

Fig. 7.

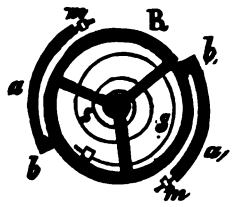


Ganz daſſelbe aber geſchieht bei Verkürzung der Pendelſtange durch Kälte. Die Linſe rückt dem Aufhängungspunkte näher, die beiden Federn, bei *f* und *c* befeſtigt, krümmen ſich aber abwärts nach *m'* und *m'* und ſo wird auch für dieſe Art von Temperaturveränderung eine gleichbleibende Entfernung des Schwerpunktes vom Aufhängungspunkte ermöglicht.

Man nennt eine ſolche Veranſtaltung ein Compenſationspendel und es fehlt bei keiner aſtronomiſchen Uhr, wenn ſchon die Art der Compenſation häufig eine andere iſt als die hier beregte.

Auch für Taſchenuhren, für ſogenannte Chronometer wendet man dieſe Compenſation an. Die Fig. 8 zeigt die Unruhe einer Seeuhr, woran

Fig. 8.



ss die Spirale. An dem äußerſten Umfange der Unruhe ſitzen zwei Arme *ab* und *a,b,* bei *b* und *b,* einander genau gegenüber befeſtigt, ſie haben die Krümmung der Unruhe, ſo daß, ſo lang ſie ſind, ſie mit ihr parallel laufen. Die beiden Arme *ab* und *a,b,* ſind, wie oben beſchrieben, aus Meſſing und Stahl zuſammengeſetzt und ſie tragen bei *m* und *m'* kleine Kügelchen von Gold, auf Schrauben beweglich, in welche die Arme enden.

Wenn nun durch Temperaturerhöhung die Unruhe größer wird, alſo eine langſamere Schwingung eintreten müßte, ſo krümmen ſich zugleich die beiden Arme und da ſie die ſchwerſten Maſſen, die Goldkügelchen tragen, ſo bringen ſie dieſe und mit ihnen den Schwerpunkt des ganzen Syſtems näher nach dem Mittelpunkt. Entgegengeſetztes geſchieht bei Erkältung, die Unruhe wird kleiner, der Schwerpunkt müßte dadurch nach der Mitte zu rücken, die Uhr alſo ſchneller gehen, da aber durch eben dieſe Erkältung die gekrümmten Arme ſich ſtrecken, ſo werden die Goldklümpchen nach außen gerückt.

Die Kunſt des Uhrmachers beſteht nun darin, Alles ſo abzugleichen, daß der Schwerpunkt der Unruhe unter allen Temperaturen, denen eine Uhr möglicher Weiſe ausgeſetzt werden kann, in unveränderter Entfernung von dem Mittelpunkt bleibt, daß mithin die Arme ſich genau um ſo viel krümmen oder ſtrecken, als die Unruhe ſich ausdehnt oder zuſammenzieht; früher darf die Bemühung um die Uhr nicht aufhören, das Ziel muß erreicht werden, alsdann darf man die Uhr bei + 30 Grad R. in der Taſche tragen und bei — 30 Grad auf den Tiſch neben den Compas legen, es wird der Gang der Uhr nicht verändert werden. Solche Uhren ſind denn auch enorm theuer, weil die Zeit bezahlt werden muß, „Zeit iſt Geld!" „Zeit iſt Geld!" ſollte man lieber ſagen und mehr als dies, verlornes Geld kann wieder gefunden oder wieder erworben werden, verlorne Zeit bleibt unwiederbringlich verloren.

Gewalt der Ausdehnung durch Wärme.

Bevor wir zu den Wärmemeſſern zurückkehren, möge hier noch ein intereſſantes Beiſpiel von der Gewalt der Ausdehnung und Zuſammenziehung durch Temperaturveränderung ſtehen, welches uns gleich zeigt, wie ſcheinbar unwichtige Dinge ihre practiſche Anwendung finden.

Das Conservatoire des Arts et Metiers in Paris war ſo ſchlecht fundamentirt, daß die Mauern des großen, kirchenartig ausgedehnten Hauptſaales ſich ſenkten, nach außen drückten und zu fallen drohten. Napoleon I. ließ den bedenklichen Gegenſtand unterſuchen und forderte einen Anſchlag über die Reparaturkoſten. Man grub, prüfte, ſtudirte und die Commiſſion kam zu dem Schluß, daß die Mauern abgebrochen, neue 10 Fuß tiefere Fundamente gelegt und daß die Wände dann wieder aufgeführt werden müßten; das Ganze würde etwa 10 Millionen Francs koſten.

Napoleon I., welcher wohl Geld zu Uniformen und Gewehren und zum Niederſchießen ganzer Armeen hatte, nicht aber wie ſein Neffe zum Niederreißen ganzer Stadttheile und zu einem dieſem folgenden Neubau, fand das zu theuer; als man aber nach einem Jahre in ihn drang und ihm die Gefahr vorſtellte, welche es für die Beſucher wie für die Bewohner haben könne, wenn das baufällige Haus ſtehen bleibe bis zum koſtenloſen Einſturz, ernannte er noch eine Commiſſion. Auch dieſe unterſuchte, prüfte, grub den Boden auf und kam zu dem Schluſſe, daß die Berichte der erſten Commiſſion höchſt lächerlich und übertrieben ſeien, man brauche die Mauern gar nicht abzubrechen, man werde an etwa zehn verſchiedenen Stellen unter jeder Mauer Schachte anlegen, dieſe etwa 40 Fuß tief legen, bis man auf den natürlichen Felsboden käme, dann wolle man breite Granitquadern unterführen, auf dieſe Schrauben ſetzen und mittelſt derſelben die Mauern gerade heben.

Sei dies geſchehen, ſo werde man ſehr leicht die übrigen geſchont gebliebenen Stellen gleichfalls unterfahren, mit Granitpfeilern unterſtützen können und das Gebäude bliebe erhalten, auch den Koſtenpunkt betreffend habe die frühere Commiſſion ſich große Uebertreibungen zu Schulden kommen laſſen, nicht 10,000,000 würde der Bau koſten, mit 9,850,000 ſei Alles abgemacht.

Napoleon fand ſich nicht bewogen, die Bemühungen der zweiten Commiſſion anzuerkennen, es blieb vorläufig beim Alten. Da trat der Ingenieur Morin, ein junger geiſtreicher Mann, an Napoleon und ſagte: er habe gleichfalls, aber für ſich und ohne große Anſtalten, den Schaden an dem

Hause untersucht und glaube ihn heilen zu können mit dem zehnten Theil von dem, was die beiden Commissionen für die Wiederherstellung verlangt.

Dies leuchtete ein, das Verlangte ward dem Ingenieur zur Disposition gestellt und er begann damit in ziemlicher Höhe armdicke Löcher durch die Mauern, in zwei Reihen über einander fortlaufend, meißeln zu lassen. Man war neugierig, was daraus werden würde, als aber nach einigen Wochen durch die Löcher auch armdicke Eisenstangen hinausragten, welche Schrauben mit sehr starkem Gewinde hatten, da fiel das Thermometer aller derjenigen, welche auf guten Erfolg gehofft hatten, weit unter Null und die beiden Commissionen, welche sich schon für blamirt gehalten, faßten wieder Muth. Das Haus durch Schrauben zusammenziehen, das war doch gar zu albern. Wo denn die Kraft her bekommen, um die jetzt allerdings sehr leicht gehenden Muttern anzuziehen, wenn einmal die Last des Hauses sich dagegen stemme? Die Commissionen lachten im Stillen und lachten laut, allein Morin ließ sich nicht stören, er arbeitete ruhig fort. An jede Stange ward ein breiter, mächtiger Kreuzanker angebracht, welcher in der Mitte sehr dick, nach den Enden schmal zulief und im Stande war, einen mächtigen Druck auszuhalten, ohne nachzugeben; es wurden ferner unter die niedrigere Reihe von Stangen, welche quer durch den großen Raum von einer Seitenmauer zur andern liefen, große viereckige Blechpfannen angebracht, die an eisernen Haken lose auf den Stangen hingen und abgenommen werden konnten, deren Zweck Niemand einsah, auf deren richtige, in bestimmter Entfernung gehaltene Befestigung Morin jedoch großen Werth legte.

Eines schönen Morgens sah man auf dem fliegenden Gerüst, das an den Stangenköpfen hing, die aus den Mauern herausragten, viele Leute emsig beschäftigt, die Schrauben anzuziehen, bis sie die breiten Sättel, welche unter den Muttern lagen, an die Mauer drückten. Nach einer kurzen Zeit ließ die Arbeit nach, die Leute oben überzeugten sich, daß die Schrauben sich nicht weiter anziehen ließen und die Zuschauer überzeugten sich, daß die ganze Unternehmung auf einem noch schlechteren Fundament ruhe als das zu reparirende Haus.

Am nächsten Morgen sah man mit Erstaunen, daß die Schrauben der ganzen unteren Reihe locker geworden waren, einen Zoll Spielraum ließen; Arbeiter auf dem fliegenden Gerüste waren beschäftigt, die Schrauben abermals anzuziehen. Nun wurde man neugierig. Am dritten Morgen waren sämmtliche Schrauben der oberen Reihe ganz locker, Arbeiter zogen sie an und in Kurzem konnte man sehen, wie auch die Schrauben der unteren Reihe locker wurden und darauf angezogen werden mußten.

So ging das etwa 14 Tage lang fort, bis man durch Vergleiche der

Richtungslinie mit andern Gebäuden gewahrte, daß die Mauern nicht mehr so schief standen, ja in Kurzem waren sie vollkommen senkrecht, wie sie hätten von Hause aus sein und bleiben sollen und die lachenden Gesichter der Mitglieder der Commissionen wurden sehr ernst, als sie sahen, daß durch ein unbekanntes, aber sichtlich höchst einfaches Mittel erreicht worden war, was sie für unmöglich gehalten.

Morin hatte zwei Reihen Stangen durch die Mauern geführt und auswendig durch sehr starke flache Schrauben die Anker an die Mauern drücken lassen. Nun hatte er in den Pfannen unter der untersten Reihe Feuer angezündet, dadurch waren die davon berührten Stangen heiß geworden und hatten sich verlängert. In diesem Zustande ragten sie weiter aus den Mauern als vorher und die Schrauben wurden so weit als möglich angezogen; das war die erste Morgenarbeit. Man ließ das Feuer verlöschen, die Stangen wurden kalt, zogen sich genau um so viel zusammen als sie sich vorher gestreckt hatten und da diese Bewegung eine vollkommen unwiderstehliche ist, so hoben sie die Mauern so weit empor als die Stangen sich zusammenzogen. Wäre dies nicht möglich gewesen, so hätten die Stangen reißen müssen, denn in der Spannung, in welcher sie erhitzt sich befanden, können sie nicht verharren, wenn sie abgekühlt sind. Umgekehrt versucht man eine zwischen Mauern oder Felsen eingeklemmte Eisenstange zu erhitzen, so wird sie entweder die Felsen aus ihren Lagern rücken, die Mauern umwerfen oder sie wird sich biegen.

Morin's eiserne Balken waren stark genug, sie rissen nicht, sie hoben die Mauern. Dadurch war nun eben die obere Reihe zu lang geworden, die Muttern legten sich nicht mehr an die Mauern und des zweiten Morgens Arbeit war, diese Schrauben anzuziehen. Dann erhitzte man wieder die untere Reihe; unterdessen diese nachgab, wodurch die Mauern hätten in ihre frühere Lage kommen müssen, hielt die obere Reihe Stangen die Mauern fest, die unteren aber, nachdem sie sich gestreckt hatten, wurden nun gleichfalls angezogen und während sie allmählig erkalteten, nahmen sie eben so allmählig die Mauern wieder um einen Zoll mit sich und machten die obere Reihe Stangen wieder los.

So geschah dies täglich in ein paar Morgenstunden, bis das Ziel erreicht war. Nun wurden die Fundamente unterfahren und als man Alles beendet, da war von dem geforderten Zehntheil noch nicht die Hälfte verbraucht, was Napoleon natürlich veranlaßte, die andere halbe Million dem geschickten Ingenieur zu schenken und ihn überdies noch mit dem Officierkreuz der Ehrenlegion zu schmücken.

Die eine Reihe der Stangen blieb in den Mauern stecken, vielleicht

im Gefühl der nicht sicheren Untermauerung der Fundamente, vielleicht zur Erinnerung an die Art der Aufrichtung und sie ist noch heute daselbst zu sehen als Zeuge, welche Resultate eine vernünftige Anwendung der Naturgesetze giebt. Hier ist auf die bisher bekannt gewordene großartigste Weise nichts weiter ausgebeutet von diesen Gesetzen, als daß Erwärmung die Körper ausdehnt, Erkältung sie zusammenzieht.

Maß der Ausdehnung.

Diese Ausdehnung zu messen, ist eine Aufgabe der Physik und das Maß dieser Ausdehnung wiederum auf die Schätzung der Temperatur anzuwenden, ist die Aufgabe der Thermometrie, der Wärmemeßkunst. Unsere sämmtlichen Thermometer sind nichts weiter als Instrumente, welche die Ausdehnung des Wärme aufnehmenden Körpers messen und aus dieser Ausdehnung einen Rückschluß auf diejenige Wärmemenge gestatten, welche nöthig war, um die Körper bis auf diesen Grad auszudehnen.

Ein Maßstab für die Wärme wären demnach ein Paar ganz gleicher und fein getheilter Stangen, von denen die eine der zu prüfenden Temperatur ausgesetzt würde, indessen die andere auf derjenigen Temperatur bliebe, welche beim Theilen angewendet wurde. Legt man nun die erwärmte Stange neben die kalte, so ist eine gewissermaßen der Nonius der andern und man kann an dem Grade der mangelnden Uebereinstimmung in den Theilstrichen den Grad der Ausdehnung sehr gut messen und aus dieser Ausdehnung auf die Wärmemenge schließen, welche erforderlich war.

Durch das Gewicht läßt sich dies nicht ermitteln, denn die Wärme giebt Ausdehnung ohne Gewichtszunahme. Ein Kind dehnt sich auch aus, aber mit Gewichtszunahme, der Stoff, welcher die Ausdehnung bei den wachsenden Thieren bewirkt, ist nicht unwägbar, es ist der Nahrungsstoff, Brodt, Gemüse, Fleisch, Milch, Fett u. s. w. Mit der Wärme nicht so, die Körper wachsen dadurch auch, sie werden länger und dicker, aber der Stoff, welcher dies bewerkstelligt und diese Arbeit verrichtet, ist selbst nicht wägbar, seine Arbeit besteht darin, ein größeres Haus aus demselben Material zu bauen, es sind dann in diesem größeren Hause mehr leere Zwischenräume und wahrscheinlich auch dünnere Wände.

Wo der Körper durch die Wärme sich ausdehnt, aber entweicht aus einer Oeffnung, wie bei Flüssigkeiten und Gasarten, kann man beim Zurückführen auf die vorige Temperatur sehr gut den Wärmegrad messen, welcher zu der Ausdehnung nöthig war und dieses durch das Gewicht; denn ist *eine Kugel ganz gefüllt* mit Quecksilber gewogen worden und wird sie (die

eine feine Oeffnung hat) erhitzt, so daß Queckſilber ausfließt, ſo kann man nach dem Erkalten mittelſt der Wage höchſt genau beſtimmen, wie viel ausgefloſſen iſt und wenn man die Ausdehnung des Queckſilbers durch Temperaturerhöhung kennt, kann man ganz genau auf den Grad von Wärme ſchließen, welcher nöthig war, um ſo viel Queckſilber ausfließen zu machen.

Die Methode giebt das beſte Regiſterthermometer und den beſten Hitzemeſſer (Pyrometer).

Ausflußthermometer.

Das Erſtere nennt man Ausflußthermometer und man bedient ſich deſſen, um es in Räume zu ſchicken, in welche man nicht ſelbſt hingelangen kann, um zu beobachten. Nehmen wir an, das Waſſer in einem 2000 Fuß tiefen arteſiſchen Brunnen, welches mit 32 Grad oben aus der Mündung ausſtrömt, ſoll unten an ſeiner Quelle unterſucht werden. Dorthin kann natürlich Niemand gelangen, abgeſehen von dem Waſſer, welches die Röhre erfüllt, iſt ſie auch zu eng, mithin, auch wenn ſie leer wäre nicht practicabel und ein gewöhnliches Thermometer hinabſchicken, würde allerdings zu nichts führen, denn obſchon es unten angelangt bald die verlangte Temperatur annähme, ſo würde es dieſelbe doch nicht mit an die Oberfläche bringen, ſondern dieſelbe im Heraufgehen austauſchen gegen die unterwegs darauf einwirkenden Temperaturen.

Um nun ein Thermometer, welches die angenommenen Wärmegrade behält, zu erlangen, läßt man ein gewöhnliches Thermometerrohr oben, wo es zugeſchmolzen zu ſein pflegt, offen, dies iſt die ganze Kunſt. Es wird beobachtet, bei welcher Temperatur man es gefertigt und gefüllt hat, nun ſieht man zu, wie viel bei jedem Grade, um den man es erwärmt, ausfließt.

Dies hat allerdings die Unbequemlichkeit, daß man es immer wieder füllen muß und daß man bei jedem Experiment etwas Queckſilber verliert, allein eine geringfügige Veränderung beſeitigt dieſe Fehler. Man verengert die Spitze des Thermometerrohres, biegt ſie krumm und bläſt eine kleine Kugel daran, die nunmehr zugeſchmolzen wird, dann hat dieſes Thermometer zwei Kugeln, deren eine dazu dient, den thermoſcopiſchen Körper ein- für allemal aufzunehmen, die andere aber, um diejenige kleine Quantität, welche durch Temperaturerhöhung aus der Spitze ausfließt, zu empfangen. Nun hat das Inſtrument keinen Fehler mehr, man ſenkt es in einen mit böſen Wettern erfüllten Schacht, man ſenkt es in den Keſſel einer Dampfmaſchine, in ein arteſiſches Bohrloch, durch jede der dadurch bewirkten Temperatur-

erhöhungen fließt die entsprechende Quantität aus dem Hauptrohr aus in die kleine Kugel am oberen Ende, man mißt nach, welchem Grade das Ausgeflossene entspricht und kehrt alsdann das Thermometer um, so daß der Quecksilberfaden im Rohr mit dem in die kleine Kugel getretenen sich verbindet, beim vorsichtigen Neigen fließt dann Alles in das halb leer gewesene Rohr zurück, nichts bleibt in der kleinen Kugel und das wieder ganz gefüllte Thermometer ist zum neuen Versuche fertig.

Luftpyrometer.

Der Gedanke, das Ausfließen eines Körpers zum Messen seiner Ausdehnung und somit zum Wärmemesser zu machen, stammt von dem Herzog v. Devonshire her und ist in vielfältigen Abänderungen angewendet worden. Eine der zweckmäßigsten ist die von Petersen zur Messung großer Hitzegrade angewendete Platinbirne. Aus dem gedachten feuerbeständigen Metall wird eine Birne getrieben oder aus zwei Hälften mit Gold zusammengelöthet (was jedoch darum nachtheilig ist, weil die Löthstelle bei einer Hitze, die dem Schmelzpunkte des Goldes entspricht, aus einander geht) und an der Stelle, an welcher sich der Stiel befinden würde, mit einem Schraubengewinde versehen, auf welches ein gleichfalls mit Schrauben versehener Deckel paßt, der jedoch nur ganz locker darauf sitzen darf, so daß die Luft aus dem Innern entweichen kann, ohne das Gefäß aufzutreiben oder gar zu zersprengen.

Man prüft sehr genau das Gewicht der Metallmasse im leeren Zustande, füllt dasselbe dann mit destillirtem Wasser, um das Volumen Luft, welches der hohle Inhalt bergen kann, zu ermitteln und entfernt nun durch Erwärmen das Wasser nicht nur, sondern auch die darin zurückbleibenden Dämpfe.

Man weiß jetzt das Gewicht des Platingefäßes, das des Wassers mit dem Platingefäße und hat durch Abzug des ersteren vom letzteren das Gewicht des Wassers, welches in das Gefäß geht und kennt natürlich aus diesem Gewicht das Volumen des Wassers oder der Luft, die hier hineingeht. Damit es sich leicht behandeln lasse und nicht theuer werde, macht man es gewöhnlich klein wie eine Wallnuß, ungefähr von einem Kubikzoll Inhalt, allein wenn es auch nur die Hälfte oder den vierten Theil dieses Inhaltes hat, so ist das schon groß genug.

Bei der Anfertigung hat man darauf zu sehen, daß die Gegend des *dünneren* Halses oder Stieles der Birne stärker von Metall sei als des

übrigen Körpers, auch an der Metalldicke des Deckels darf man nicht sparen, wir werden sehen weshalb.

Soll nun ein Versuch gemacht werden, so besorgt man sich eine kleine Muffel von unschmelzbarem Thon oder von Graphit, die in eine lange und schmale Zange paßt, mit welcher man sie in die Feuermasse halten kann. In die Muffel legt man das Luft enthaltende Platingefäß, Muffel und Gefäß bringt man in das Feuer und läßt beiden Zeit, die in dem Porzellanofen, Glühofen ꝛc. befindliche Temperatur anzunehmen. Da die Zange (oder ein Eisenring mit langem Eisenstiel) gleichfalls in dem Feuer bleiben muß, so wird, damit er nicht verbrenne, derselbe vorher mit Thon beschlagen. Das Verharren in demselben Feuer ist nämlich unerläßlich, weil das Abschätzen der Temperatur durch Herausnehmen der Platinbirne bewerkstelligt wird und diese natürlich ihre Temperatur in dem Augenblick verlieren würde, in welchem die kalte Zange den Apparat faßt.

Glaubt man, die Graphitmuffel und das darin liegende Platingefäß habe die Temperatur des Ofens oder was man sonst untersuchen will, den Schmelzpunkt eines Metalles, den Glühepunkt eines anderen erreicht, so nimmt man mittelst des aus dem Ofen reichenden Stieles oder der Zange diese Muffel heraus und stürzt sie in ein bereitstehendes Gefäß mit reinem destillirtem Wasser um, so daß nur die Platinbirne hinein fällt. Es muß dieses so schnell geschehen, daß die Birne nicht Zeit hat, sich um einen Grad abzukühlen, die Abkühlung darf lediglich innerhalb Wassers geschehen.

Der Erfolg dieses Experimentes ist zuerst, daß, sobald die leicht verschlossene (durchaus nicht luftdicht zugeschraubte) Birne in den zu untersuchenden Feuerraum kommt, die darin enthaltene Luft sich ausdehnt und nach Maßgabe der Erhitzung entweicht, sie muß zwischen den Schraubengängen hindurch können, einen schwierigen, aber sicheren Ausgang finden.

Hat die Birne die Temperatur des Feuerraums angenommen, so ist auch die Luft daraus in dem Grade vertrieben, als es durch die vorhandene Temperatur möglich ist und die dadurch erzielte Luftverdünnung entspricht also der Höhe der Temperatur. Wirft man nun die glühende mit höchst verdünnter Luft gefüllte Birne in das Wasser, so wird dieses durch den Druck der Atmosphäre in den nunmehr abgekühlten Raum hinein getrieben, weil die darin enthaltene geringe Menge Luft der äußeren nicht mehr das Gleichgewicht halten kann, was sie in ihrem zwar verdünnten, aber auch so hoch erhitzten Zustande konnte, weil dadurch ihre Elasticität so weit als zum Widerstande nöthig erhöht war.

Hat man also das Experiment mit der gehörigen Vorsicht gemacht, so wird man nun die Birne aus dem Wasser nehmen, sie sorgfältig außen

mit Fließpapier abtrocknen und dann wieder wiegen müssen. Man wird sich überzeugen, daß die Birne jetzt nicht so viel wiegt als da man sie mit Wasser ganz gefüllt abwog. Dasjenige um was sie weniger wiegt — also beispielsweise ein Gran — entspricht dem Luftraum, welcher noch nicht mit Wasser gefüllt, auch nicht gefüllt werden konnte, da die Einrichtung der Birne nicht zuließ, daß sie anders in das Wasser fallen konnte als mit der Mündung zuerst, welche der schwerste, dickste Theil derselben ist. So viel Luft ist also noch darin, daß der Raum, den sie einnimmt, wenn er statt mit Luft mit Wasser gefüllt wäre, einen Gran wiegen würde. Da Luft aber 800 Mal leichter ist, so entspricht dies $^1/_{800}$ Gran Luft oder einem Volumen, welches sich zu der vollen Birne verhält wie die Temperatur, bei der das Instrument geregelt worden, zu der Temperatur, bei welcher man es aus dem Feuer genommen.

Es ist begreiflich, daß zu dem Instrumente eine Scala gefertigt werden muß, welche aus dem bloßen Gewichte des Wassers nach dem Glühversuch die Luftverdünnung und die zu derselben erforderliche Temperatur angiebt, denn erst durch eine solche wird das Instrument practisch brauchbar, allein es leidet auch dieses wie alle bisher erfundenen Pyrometer an großen Fehlern. Höchste Grade von Hitze, z. B. die eines Knallgasgebläses oder die des elektrischen Lichtbogens einer großen Batterie kann man damit nicht messen, weil das Platina selbst in diesen Temperaturen schmilzt, welche bekanntlich Alles zerstören oder in Fluß bringen, was wir bis jetzt für unzerstörbar gehalten.

Pyrometer durch Legirungen.

Ein Vorschlag von J. Prinsep, hohe Grade von Hitze zu messen, zeigt, wie sehr man sich vor Täuschungen durch Schlüsse zu hüten habe. Derselbe räth, den Schmelzpunkt von Silber, Gold und Platin als drei feste Punkte zu wählen und die Zwischenstufen dadurch zu bestimmen, daß man 99 Procent Silber mit 1 Procent Gold, 98 Procent Silber mit 2 Procent Gold ꝛc., eben so mit Platina, zu einer Legirung verbinde, davon Körnchen in einem Kästchen zu einer ununterbrochenen Reihe, die mit Nummern bezeichnet ist, vereinige. Wenn man nun prüfen wolle, welche Hitze dieser oder jener Raum habe, solle man ein Kügelchen von diesem Metall mischen, in einen kleinen Tiegel thun und sehen, ob dasselbe schmilzt. Geschieht dies, so nimmt man nun ein weniger schmelzbares, geschieht es noch nicht, so *nimmt man ein leichter* schmelzbares Metallkügelchen, bis man zu der

Grenze gelangt ist, wo das eine Kügelchen schmilzt und das unmittelbar darauf folgende nicht mehr.

Abgesehen davon, daß dieses Verfahren ein höchst mühsames ist, daß man vielleicht zehn oder zwanzig Proben machen kann, bevor man an die rechte Stelle kommt, abgesehen davon, daß die mehrere hundert Kügelchen so leicht verwechselt werden können wie hundert in einer Reihe liegende Erbsen (diese kann man noch allenfalls bezeichnen, das ist mit den Metallkügelchen nur vor der Ablieferung der Fall, nach der ersten Probe ist das Zeichen verschwunden, läßt sich auch bei hundert Kügelchen nur mikroskopisch ausführen), abgesehen hiervon ist das ganze Verfahren gänzlich unrichtig, denn Legirungen haben ganz andere Schmelzpunkte als sie nach Berechnung der Schmelzpunkte der einzelnen Metalle haben müßten, nicht nur stehen sie einem oder dem anderen Metalle viel näher als das Mischungsverhältniß vermuthen läßt, sie sind auch oft weit unter dem Mischungsverhältniß beider oder dreier Metalle.

Messing besteht aus dem bei 1080 Grad schmelzbaren Kupfer und dem bei 433 Grad schmelzbaren Zink. Sind die Metalle zu gleichen Theilen gemischt, so sollte der Schmelzpunkt 750 Grad sein, er ist aber 912, besteht die Mischung aus 3 Theilen Kupfer und 1 Theil Zink, so müßte der Schmelzpunkt 893 betragen, er hat aber wirklich 970.

Das chinesische Metallgemisch Pakfong aus Kupfer und einem geringen Zusatz von Zinn bestehend, müßte bei niederer Temperatur schmelzen als Kupfer (1080 Grad), es schmilzt aber erst bei viel höherer, nämlich bei 1200. Das Rose'sche Metallgemisch besteht aus 1 Theil Zinn, 4 Theilen Wismuth und 1 Theil Blei. Nach diesem Legirungsverhältniß müßte das Gemisch bei 278 Grad schmelzen, es schmilzt aber schon im siedenden Wasser, ja noch vor dem Kochpunkt desselben, nämlich schon bei 92 Grad und es ist dasselbe Gemisch, welches von den sogenannten unverbrennlichen Spaniern gebraucht wird, um zu beweisen, daß sie Oel trinken, welches so heiß ist, daß ein zinnerner Löffel darin schmilzt. Dieser Löffel ist aber nicht von Zinn, sondern von dem eben gedachten leicht schmelzbaren Metallgemisch.

Daß aber diese Beispiele nicht vereinzelt dastehen, zeigt sich aus der Verwendung solcher Legirungen für den technischen Gebrauch als des Schlagelothes der Kupferschmiede, des Schnelllothes der Klempner, des Rothgusses der Gelbgießer, welche aber ganz andere Temperaturen für die resp. Schmelzpunkte zeigen, als den Mischungsverhältnissen nach dieselben haben müßten.

Es ist schwer zu fassen, wie ein Mann, der so wenig von den technischen Verhältnissen versteht, Vorschläge zu so wichtigen Instrumenten zu machen sich erdreisten kann.

Wedgewood's Pyrometer.

Eine eigenthümliche Abnormität in dem Verhalten des Thones gegen die Wärme, die nämlich, daß er sich bei der Erhitzung zusammenzieht, hat Veranlassung zur Fertigung eines ziemlich guten, lange Zeit des einzigen und also besten Pyrometers Veranlassung gegeben.

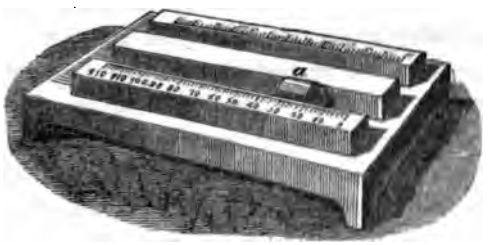
In Staffordshire findet sich ein trefflicher dichter Thon, welcher das Material für die sogenannten Potterieen (nicht zu verwechseln mit dem gleichnamigen District in der County Stafford des amerikanischen Staates New-Hampshire) hergiebt. In einem der vielen kleinen Dörfer, in welche der Gewerbszweig, den die Leute betreiben, die ganze Grafschaft getheilt hat, wohnte ein Töpfer Wedgewood, dessen Sohn Josiah das Gewerbe seines Vaters ergriff, sich aber darin auszeichnete, daß er seinen Töpfen und Theekannen bessere, schönere Formen gab. Wo er ein Gefäß von schönem Aeußern sah, suchte er dasselbe nachzuahmen, es kamen auch, wie noch jetzt in dem an Geschmack eben nicht sehr reichen England, höchst barocke Formen vor, allein im Ganzen näherten sie sich den Antiken und als der arme Töpferjunge zu einem wohlhabenden Töpfermeister geworden war, wußte er durch Anschaffung kostbarer Kupferwerke und guter Zeichner sich Modelle aller Art, von den edelsten etruriſchen Vasen bis zu den unbedeutendsten Gegenständen, Lampen u. dergl. anzuschaffen und sein Ruhm stieg in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts so hoch, daß man seinen Namen in China und in Indien, in Ungarn wie in Brasilien kannte; er gründete eine Stadt Etruria und bevölkerte sie mit 30,000 thätigen, rechtlichen Verdienst habenden Menschen und ward der Wohlthäter der ganzen Umgegend, vielleicht vorzugsweise durch seine Geschäftsverbindung mit dem ausgewanderten sächsischen Geistlichen Chriselius, welcher einige Kenntniß von der sehr geheim gehaltenen Porzellanmanufactur haben mochte und Wedgewood Mischungen von Thon mit Basalt und anderen schwer schmelzbaren Steinen machen lehrte, welche sein Geschirr unangreifbar gegen Säuren und so hart machte, daß es am Stahle Funken gab wie ein Feuerstein. Chriselius, der sich nachmals John Bentlei nannte, ward des Töpfers Compagnon und beide betrieben das Geschäft mit großem Erfolge, bis es durch die auf dem Continent sich erhebenden Porzellanfabriken in den Hintergrund gedrängt wurde.

Von diesem Töpfer wurde bei Bearbeitung seines Materials die Bemerkung gemacht, daß es sich beim Brennen verkleinere und zwar um so *mehr, je größer* die Hitze sei, welche man anwende. Die Bemerkung mochte

damals neu ſein, jetzt allerdings iſt ſie es nicht, denn jeder Töpfer, jeder Steingut-, jeder Porzellanfabrikant hat ſie tauſendfältig gemacht, ja man hat ſogar Formen zu Figuren, welche ganz ungeſtaltet ausſehen, wenn ſie nichts weiter als getrocknet ſind, welche aber durch das Brennen die rechte Geſtalt bekommen, indem ſich die verſchiedenen Theile derſelben, je nachdem ſie mehr oder minder Maſſe haben, verſchieden zuſammenziehen.

Wedgewood fabricirte kleine Cylinder von Thon, ließ ſie trocknen und ſetzte ſie nach und nach immer höheren Temperaturgraden aus, um die Zuſammenziehung zu ſtudiren, dann conſtruirte er das nach ihm benannte Pyrometer, welches die hier ſtehende Fig. 9 zeigt. Die Baſis

Fig. 9.



bildet eine etwa 5 Zoll breite und 8 Zoll lange Meſſingtafel, auf derſelben ſind drei Meſſingleiſten durch Schrauben befeſtigt. Dieſe Leiſten laufen nicht parallel, ſondern ſie ſtehen oben bei dem Anfang der Scala weiter aus einander als unten und zwar ſo, daß zwiſchen dieſelben gerade ein Cylinder *a* eingeſchoben werden kann. Es iſt unmöglich, ſie alle gerade ſo gleichmäßig zu formen, daß ſie bis zu demſelben Punkte auf der Scala reichen. Der hier auf der Fig. 9 eingeſchobene Cylinder *a* reicht mit ſeiner voranſtehenden Fläche gerade bis zu dem 20. Strich, er ſollte allerdings nur bis 0 reichen, allein würde er anfangs auch noch bis zu ſpäter folgenden Strichen reichen, ſo hätte man nichts weiter zu thun, als von der Nummer, bis zu welcher er nach dem Glühen reicht, die Zahl der Grade abzuziehen, um welche er vorher ſchon über 0 in die Scala ging.

Die meiſten ſind gewöhnlich ſo, daß jede der Metallleiſten 6 engl. Zoll lang iſt und ihr Abſtand von einander iſt zwiſchen zwei Leiſten oben $^1/_2$ engl. Zoll, dies iſt die Dicke der Thoncylinder. Die beiden Leiſten nähern ſich unten ſo, daß ſie um $^1/_{10}$ näher an einander ſtehen als oben, alſo $^5/_{10}$ und $^4/_{10}$.

Die beiden folgenden Leiſten ſtehen da, wo ſie am weiteſten ſind, um $^4/_{10}$ Zoll von einander ab und nähern ſich bis auf $^2/_{10}$. Man hat auch welche, die in ununterbrochener Linie einen ganzen Fuß lang ſind und wo

die Rinne zwiſchen den beiden Leiſten mit einer Ausdehnung von $^5/_{10}$ Zoll beginnt und mit $^3/_{10}$ Zoll aufhört, man ſieht, daß dieſes ganz gleichgültig iſt und auf eins und daſſelbe hinausläuft.

Die Thonchlinder ſind in einer Form gepreßt, bei der Temperatur von 100 Grad getrocknet und nachher leicht geglüht, ſo daß ſie ſich bereits etwas über ihre Trockentemperatur zuſammengezogen haben, der Anfangspunkt der Scala entſpricht nach Wedgewood's Verſuchen dem 464. Grad der Réaumur'ſchen Scala, von hier iſt die ganze Länge der Doppelſcala in 240 Grade getheilt und jeder Grad entſpricht 44 ½ Graden des gedachten Thermometers.

Wenn man nun die Probe machen will, ſo erhitzt man ein ſolches Cylinderchen, wie ſie zu den Pyrometern gehören, und zwar indem es (in eine Muffel eingeſchloſſen) in das Feuer gebracht wird. Man läßt es, nachdem die Temperatur des zu prüfenden Raumes angenommen iſt, erkalten und ſieht, wie weit es ſich ſchieben läßt. Wir wollen annehmen, es ſei bis zum 120. Grade gegangen und habe vor dem Glühen ſchon bis zum dritten Theilſtriche gereicht, ſo würde das Exempel ſein 120° — 3° iſt gleich 117 Pyrometergraden, dieſe ſind gleich 5214 ½ Grad R., dazu die 464 Grad R., bei denen der Cylinder zuerſt geglüht iſt, macht in Summa 5678 ½ Grad R.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß dieſes an ſich höchſt einfache Inſtrument ganz vortrefflich wäre, wenn man nicht wegen des Materials zu den Thonchlindern an einen Ort gebunden wäre und wenn die Zuſammenziehung des Thones genau den Hitzegraden, die er empfangen hat, entſpräche.

Das Erſtere betreffend, ſo müßte man für jeden anderen Thon eine andere Scala herausſuchen und probiren, ob dies geſchehen, konnte bei Empfang des Inſtrumentes oder bei den Angaben, die daſſelbe macht, Niemand wiſſen — ſchon ſehr große Uebelſtände. Das Zweite aber iſt ein Uebel, das ſich nicht beſeitigen läßt. Die ungleiche Zuſammenziehung bei gleichen Hitzegraden iſt gar nicht zu berechnen, ja drei oder mehr Cylinder aus dem echten Thon aus Cornwales, welchen Wedgewood ſelbſt anwandte, in daſſelbe Feuer gelegt, mit einander in der nämlichen Muffel geglüht, gehen verſchieden weit zwiſchen die Meſſingſtäbe der Scala; das Schlimmſte aber iſt, daß der Thon ſich durch längeres Verweilen in mäßigen Hitzegraden eben ſo ſtark zuſammenzieht als ob er kürzere Zeit bei höheren Hitzegraden im Feuer gelegen hätte. Es tritt alſo in das Rechenexempel noch ein neuer Factor ein, die Zeit, es iſt wichtig zu wiſſen, wie lange der Cylinder in der Gluth gelegen hat. Das Alles macht die Anwendung des Wedgewood'ſchen Pyrometers höchſt unbequem, ſo einfach ſie auch ausſieht.

Man iſt deshalb von demſelben zurückgekommen und es iſt jetzt wohl

nirgend mehr im Gebrauch, wird aber in alten Sammlungen physikalischer Instrumente noch als Cabinetsstück aufbewahrt.

Verfertigung der Thermometer.

Nachdem wir die historischen Thatsachen mitgetheilt und das Princip, worauf die Thermometrie sich stützt, angeführt haben, wollen wir noch einige Worte über die Anfertigung der Thermometer sagen.

Man sucht sich vor allen Dingen eine Glasröhre aus, welche innerlich überall gleiche Weite hat. Das Mittel, dies zu erforschen, heißt calibriren. Man steckt das eine Ende der Röhre in ein Queckſilbergefäß und saugt an dem andern mit dem Munde so lange, bis ein wenig Queckſilber hineingetreten ist (1 Zoll, 2 Zoll lang, gleichviel); man mißt mit den Spitzen eines Zirkels möglichst genau ab, wie weit die beiden Enden des Queckſilberfadens in der Röhre von einander entfernt sind. Nun neigt man die horizontal liegende Röhre so weit, bis der Queckſilberfaden im Innern eine andere Stelle einnimmt, dann mißt man wieder und zwar nicht, indem man den Zirkel mehr oder minder öffnet, sondern lediglich indem man zusieht, ob die einmalige Oeffnung des Zirkels auch auf das Stück Queckſilber in seiner neuen Lage paßt.

Man setzt den Versuch durch die ganze Länge der Röhre fort und hat man das Queckſilber überall gleich lang gefunden, so ist die Röhre vortrefflich und kann zu einem Thermometer von hohem Werthe verarbeitet werden. Ist der Versuch nicht so ausgefallen, so muß man die Röhre verwerfen, denn wenn man dies nicht will, so hätte man überhaupt nicht calibriren, sondern die Röhre so nehmen müssen, wie der Zufall sie giebt. So werden auch die meisten Thermometer gemacht, die man für ½ bis zu 2 und 3 Thaler im Preise käuflich erhält, denn bei allen diesen wird nur die etwaige äußere Eleganz bezahlt. Ist das Thermometer aber gewissenhaft calibrirt, so steigt sein Preis auch bei der äußerlich einfachsten Behandlung sofort auf 10—15 Thaler und mehr.

An das Rohr bläst man eine kleine Kugel mit einem Knopf, welche einigen Schutz gegen das leichte Zerschlagen gewährt, viel freilich nicht, weil die Kugel doch von möglichst dünnem Glase sein muß. Die Theorie will, daß man das Blasen nicht mit dem Munde verrichte, weil dadurch Feuchtigkeit in die Röhre kommt, man soll es mit einem Beutel von elastischem Gummi thun, der an das obere Ende der Röhre angebunden ist, allein dies geschieht wohl nirgends, weil die Behandlung der Röhre dadurch sehr beschwerlich und eigentlich ungeschickt wird.

Ist die Kugel in einer angemessenen Größe fertig (angemessen für die Weite der Röhre), so läßt man sie so weit abkühlen, daß sie nicht mehr sengt, dann hält man das offene Ende der Röhre in ein Gefäß mit Quecksilber und läßt dasselbe in den luftverdünnten Raum hineinsteigen.

Geschieht dies nicht ferner, so kehrt man das Thermometer um, daß die Kugel nach unten kommt und erwärmt sie dann wieder, wodurch abermals Luft ausgetrieben wird, an deren Stelle man beim Erkalten auf die vorhin angegebene Weise Quecksilber bringt.

Weiteres Verfahren.

Man wird dies wohl noch ein paar Mal fortsetzen müssen, bis die Kugel und etwa ein Viertheil der Röhre mit Quecksilber gefüllt sind. Nunmehr bringt man die Mündung der Röhre vor eine Glasbläserlampe, zieht sie in eine feine Spitze aus und bricht diese ab, so daß auf der cylindrischen Glasröhre ein offener Kegel von dünnerem Glase stehen bleibt. Man hält diese Spitze in der Nähe der Gebläselampe, indeß eine kleine Spiritusflamme unter der Kugel befindlich, damit das Quecksilber steige. Ist dies so weit gestiegen, daß es sich dicht unter der Spitze befindet, so wird die Spiritusflamme von einer Person weggenommen, von der andern das Gebläse in Thätigkeit gesetzt und so lange noch das Quecksilber hoch oben an der Oeffnung steht, diese zugeschmolzen.

Es ist solches Verfahren nothwendig, um das Thermometerrohr luftleer zu machen, wäre dies nicht der Fall, so würde bei dem Steigen des Quecksilbers in dem Rohre die Luft darin bald auf die Hälfte, auf den dritten, vierten Theil ihres Volumens zusammengedrückt werden und also sehr stark gegen das Quecksilber wirken und da sie nicht hindern könnte, daß das Quecksilber sich ausdehnt, wenn es wärmer wird, so würde sie das dünne Glas der Kugel entweder sprengen oder so sehr erweitern, daß alle Angaben unrichtig würden.

Dieses Luftleermachen ist also nöthig, hat aber wieder einen entgegengesetzten Nachtheil, der mit der Zeit hervortritt. Da nämlich nun nur einseitiger Luftdruck stattfindet, so wirkt dieser von außen nach innen verengernd auf die Glaskugel. Es ist zwar so wenig, daß es sich der nicht ganz aufmerksamen Beobachtung entzieht, allein es beträgt doch nach und nach so viel, daß es im Laufe einiger Monate das Thermometer um 1½ bis 2 Grad unrichtig gehen macht. Deshalb pflegt man jetzt, da man diese lange verborgen gebliebene Eigenschaft kennt, die Thermometerröhren nicht gleich nach dem Fertigen zu graduiren oder die Fundamentalpunkte zu be-

stimmen, sondern man läßt die Röhren (in den Fabriken natürlich zu tausenden) 3 bis 4 Monate ungebraucht liegen, dann erst bestimmt man den Frost- und den Siedepunkt und ist dies geschehen, so theilt man dieselben in die üblichen Grade. Hat man diese Vorsicht befolgt (welche allerdings einem Fabrikanten leichter wird als einem Dilettanten, der dies Alles zu seinem Vergnügen und seiner Belehrung unternimmt), so bleibt das Thermometer nun für alle Zeiträume, die man bis jetzt zu beobachten Gelegenheit hatte, unverändert, es sei denn, daß man das Thermometer zur Bestimmung sehr hoher Hitzegrade, wie etwa der Siedepunkt des Quecksilbers und Aehnliches benützte, denn alsdann findet immer wieder eine solche übermäßige Streckung und Ausdehnung des Glases statt, welche erst in mehreren Monaten sich so weit wieder setzt, daß die alte Scala in allen Theilen gleich brauchbar ist.

Man fordert nun zwei feste Punkte, zwei Temperaturen, welche immer gleich bleiben, unter welchen Umständen sie auch gesucht werden mögen. Annäherungsweise giebt es deren mehrere, genau nur einen. Aus einem Punkte aber läßt sich kein Abstand herleiten, da muß man denn für den zweiten festen Punkt die Umstände entweder künstlich herbeiführen oder diejenigen abwarten, unter denen er gleichfalls zu finden ist.

Fundamentalabstand.

Wasser gefriert unter sehr verschiedenen Temperaturen, Eis kann kalt und kälter werden, man hat im Freien Eis beobachtet, das 45 Grad C. unter 0 war; diese beiden Gegenstände geben also keinen bestimmten Punkt. Fahrenheit's künstlicher Frostpunkt ist gleichfalls sehr schwankend; wenn man Salmiak und Eis in gleicher Menge mischt, bei einer Temperatur, welche dem Frostpunkte entspricht, so bekommt man etwa — 10 Grad R., wenn die beiden Gegenstände Eis und Salz aber selbst — 8 Grad haben, so sinkt bei der Vermischung die Temperatur nicht bloß auf 13½ Grad unter 0, sondern auf — 18 Grad, stellt man in diese kalte Mischung wieder Eis im zerstoßenen Zustande oder Schnee und Salmiak, beides in einem kalten Gefäße und mischt man die so erkälteten Substanzen nun mit einander, so erhält man — 24 Grad. Man sieht hieraus, daß die Vermischung von Salmiak mit Schnee keineswegs einen festen Punkt giebt, wie Fahrenheit meinte.

In dieser Region aber ist derselbe doch zu finden, es ist nicht die Temperatur, bei welcher Wasser gefriert, es ist diejenige, bei welcher Eis schmilzt. Es ist nämlich ganz gleich, ob dies im Freien oder im warmen

Zimmer geſchieht, gleichviel ob es durch heißes oder durch kaltes Waſſer bewerkſtelligt wird, gleichviel ob es auf dem Tiſche in einem hölzernen Gefäß oder über dem lebhafteſten Feuer in einem Metallgefäße geſchieht, ſobald man ſiedendes Waſſer mit einer gehörigen Menge Eis in Berührung bringt, ſo daß noch Eis ungeſchmolzen übrig bleibt, ſo nimmt dieſes Gemiſch eine Temperatur an, welche man die des ſchmelzenden Eiſes nennt und welche ganz dieſelbe iſt, als wenn man kaltes Waſſer auf dieſes Eis gießt.

Wenn man Schnee in einem kupfernen Keſſel über Kohlen ſetzt, ſo ſchmilzt der Schnee, nachdem vorher derſelbe, der vielleicht — 10 Grad hatte, auf — 8, 4, 1, auf 0 Grad geſtiegen war. Nun ſteigt das Thermometer nicht mehr, der Schnee wird nicht + 1, 5, 10 Grad warm, er bleibt auf 0 Grad ſtehen, dagegen wird er flüſſig, er wird in Waſſer verwandelt, aber dieſes Waſſer wird auch nicht warm, es bleibt auf 0 Grad ſtehen, bis das letzte bischen Schnee oder Eis geſchmolzen iſt, von dieſem Augenblick ſteigt die Temperatur des Waſſers bis zum Sieden, keine Secunde früher.

Dove in ſeiner geiſtreichen, anſchaulich machenden Weiſe ſagt: die Wärme verrichtet eine Arbeit, ſo lange ſie dieſes thut, kann ſie nichts anderes thun; man ſagt zu ihr: ſchmilz dieſes Eis, gut, das geſchieht, man verlangt nun von ihr, ſie ſoll das geſchmolzene Eis, das Waſſer, auch noch erwärmen, da ſagt ſie: „warte nur noch ein wenig, ich habe jetzt mit Eisſchmelzen genug zu thun, wenn ich damit fertig bin, dann ſtehe ich gern zu Dienſten.“ Und in der That iſt es ſo, ſie läßt ſich nicht bereden, ſie läßt ſich nichts abhandeln, ſie erwärmt das Waſſer nicht, bevor ſie mit dem Schmelzen des Eiſes fertig iſt.

Hier wäre alſo ein feſter Punkt. Aber das giebt uns noch keinen Abſtand, wir müſſen noch einen zweiten ſolchen Punkt einer immer gleich bleibenden Temperatur haben. Der Gedanke, die menſchliche Blutwärme als ſolchen zu betrachten, lag, ſo lange es noch keine Thermometer gab, gar nicht ſo nahe als man glaubt, wurde aber doch vorgeſchlagen, und als man hiermit die erſten Thermometer graduirte, hatte man wirklich etwas, man überzeugte ſich mit den neu gefertigten Inſtrumenten, daß die thieriſche Wärme warmblütiger Thiere immer gleich bleibe. Mit neueren guten Inſtrumenten hat man ſich allerdings ſeit 80 und mehr Jahren überzeugt, daß ſie nicht gleich bleibe und daß es Menſchen giebt, welche nur 29 Grad R. und andere, welche 31 Grad R. Blutwärme haben; iſt aber ein Schwanken um volle 2 Grad vorhanden, ſo kann man dies keinen feſten Punkt nennen. Eben ſo iſt es mit der Kellerwärme, die zwar (wenn der Keller nur tief *genug iſt*) in Berlin unter allen Umſtänden 8 Grad R., in Paris aber

keineswegs auch 8, sondern 10 Grad R. und in München, welches damit unter gleicher Breite liegt, nur 5 Grad R. sein wird, d. h. es giebt keine Kellerwärme im Allgemeinen, denn sie ist in Rom 12 und in Cairo 22 Grad, in Irkuzk — 5 Grad, kurz sie ist die mittlere Bodentemperatur und so wie diese nach geographischer Breite und nach der Höhe über dem Meere verschieden ist, so ist auch die Kellertemperatur verschieden.

Siedhitze.

Wenn wir uns wieder an das Wasser wenden, vielleicht bekommen wir von demselben noch einen festen Punkt, den Siedepunkt. „Gewiß — sagte ein gelehrter Apotheker in Schwaben — das ist ein fester Punkt, wenn das Wasser kocht, so kocht es, heißer als kochend kann es nicht werden."

Der Mann hat ganz recht, heißer als kochend kann Wasser nicht werden, aber bei welcher Temperatur es kocht, das ist die Frage. „Immer bei derselben", sagte der gelehrte Thebaner, „Sie werden mir mit aller Gelehrsamkeit nicht weis machen, daß man Wasser bei höherer Temperatur als 80 Grad zum Kochen bringen könne." Der Verfasser gab sich die größte Mühe, dem Mann zu beweisen, daß die Kochhitze des Wassers vom Luftdruck abhänge und daß, wie man mit weniger Wärme Wasser kochen könne und bei minderem Luftdruck unter der Glocke einer Luftpumpe (dies gab er unbedingt zu, das hatte er einmal in seinen jungen Jahren gesehen), eben so daß man bei erhöhtem Luftdruck mehr Wärme zu demselben Zweck brauchen werde — vergeblich! Er blieb bei dem, was er gelernt hatte.

Meine lieben Leser wissen das besser, sie wissen, daß in einem gut verschlossenen Kessel das Wasser bei 80 Grad noch nicht zum Kochen kommt, sie wissen, daß die Dampfmaschinen mit Hochdruck nur dadurch so gewaltig wirksam sind, daß man Wasser im verschlossenen Raum auf 100, auf 150 Grad R. kommen läßt und erst hiervon die entwickelten Dämpfe (welche natürlich auch viel heißer sind als die des Wassers an freier Luft) auf die Stempel der Dampfmaschine wirken läßt, sie wissen demnach überhaupt, daß der Siedepunkt des Wassers vom Luftdruck abhängt und daß also, da der Luftdruck ohne alle künstliche Vermehrung oder Verminderung desselben an der Erdoberfläche um 2 ½ Zoll Barometerhöhe wechselt, ja wenn man an der Erdoberfläche bergan steigt, um 14 Zoll wechselt, d. h. um die ganze Hälfte des Druckes der Luft, der Siedepunkt des Wassers durchaus kein bestimmter sein könne.

Wie wird man es denn nun machen, um dennoch einen zweiten festen Punkt zu haben? Man wählt den Siedepunkt des Wassers bei einem bestimmten Luftdruck, auf guten Thermometern steht auch jederzeit „graduirt bei einem Barometerstande von — Zoll." Wenn diese Zahl nun gerade 28 ist (welches man als den Normalstand zu betrachten sich gewöhnt hat), bedarf es weiter keiner Berichtigung, eine solche aber, bei jedem andern Barometerstande nöthige, kann leicht gemacht werden, wenn man den Stand kennt, bei welchem der Siedepunkt des Wassers genommen worden ist.

Auf diese Weise bestimmt, ist der Siedepunkt so gut ein fester wie der sogenannte Gefrierpunkt, den ich Thaupunkt nennen würde, wenn die neuere Physik darunter nicht etwas ganz anderes, nämlich die höchst veränderliche Temperatur verstände, bei der in der Luft befindlicher Wasserdampf sich niederzuschlagen beginnt.

Eintheilung.

Am Thermometer hat man nunmehr zwei feste Punkte, einen des schmelzenden Eises, immer unter jedem Luftdruck gleich bleibend und einen zweiten des siedenden Wassers, zwar so sehr wechselnd, daß man durch denselben Höhen messen, ja schon die Höhe eines Hauses bestimmen kann, doch durch Rechnung und Beobachtung des Barometerstandes auf eine gewisse Stelle zurückzuführen und zu einem festen Punkte zu machen.

Dieser Abstand liegt der ferneren Eintheilung zum Grunde und deshalb nennt man ihn den Fundamentalabstand.

Je nachdem man nun das in Deutschland gebräuchliche oder das französische oder das Fahrenheit'sche Thermometer, welches in England im Gebrauch ist, haben will, theilt man diesen Fundamentalabstand in 80, in 100 oder in 180 Theile.

Bei dem letzten Thermometer, dem Fahrenheit'schen, steht aber am Siedepunkt nicht die Zahl 180, sondern die Zahl 212, dennoch ist die Eintheilung in 180 Theile ganz richtig, man muß dieselbe nur auch unterhalb des Frostpunktes fortsetzen und zwar 32 Grad abwärts. Dieser heißt der Fahrenheit'sche Nullpunkt, zum Schmelzpunkt des Eises setzt man die Zahl 32 und von dieser zählt man noch 180 Grade aufwärts, welches dann schließlich die Zahl 212 giebt. Auf eine andere Art bestimmt man jetzt den künstlichen Nullpunkt nicht mehr, weil die Fahrenheit'sche Art ihn zu erlangen eine durchaus unsichere ist.

Höchst unbequem ist diese verschiedene Eintheilung (zu welcher in Rußland noch eine vierte durch de Lisle erdachte kommt, bei welcher der Siede-

punkt mit 0 bezeichnet ist und die Grade nur abwärts zählen bis zum Frostpunkt, der 150 Grad hat), denn sie fordert ein unaufhörliches Reduciren der einen Scala auf die andere, man muß 4 zu 5 oder 9 zu 4 oder zu 5 machen. Nun, der Deutsche thut es doch wenigstens, Franzosen und Engländer aber thun es nicht und so sind für dieselben alle unsere wissenschaftlichen Schätze verloren, denn mit einer Verachtung, welche ganz den erbärmlichen Krämerhochmuth des Engländers charakterisirt, sieht der Engländer auf die Leistungen der übrigen Völker herab und erzählt auch wohl, daß es ja kein Wunder sei, wenn dem Deutschen der Verstand einfröre, da in seinem Vaterlande das Thermometer ja nie über 30 Grad steige, wohin es in England kaum jemals hinabsinke.

Daß diese 30 Grad Réaumur'sche sind, welche seinen 100 Graden entsprechen (wohin er nun wieder das Thermometer kommen sieht), das fällt ihm nicht ein; daß ein vernünftiger Mensch nach einer anderen Scala zählen könne wie er, ist ihm so völlig fremd, daß er gar nicht auf den Gedanken kommt.

Machen sie es doch auch mit dem Barometer eben so und ein gelehrter Blaustrumpf, Mistreß Sommerville, welche mehrere physikalische und geographische Werke geschrieben, sagt ganz unbefangen: es sei höchst merkwürdig, daß an der Ostsee das Barometer meist um 2 und mehr Zoll niedriger stehe als in England am Meeresufer, es ist also die Atmosphäre in dieser Gegend der Erde leichter als sonst wo. Sie hätte sagen sollen: überall ist sie leichter, drückt sie mit weniger Gewicht als in England, daher auch die große Neigung der Engländer zum Spleen, der ja von der dicken Luft herkommt.

In England ist nämlich der mittlere Barometerstand 30 Zoll, sonst überall (oder wie Mrs. Sommerville meint, besonders an den Ufern der Ostsee) 28; dieser höchst merkwürdige Unterschied im Luftdruck rührt lediglich von der Mrs. Sommerville her, welche nicht weiß, daß die englischen Zolle kleiner sind als die Pariser, so daß gerade 13 einem Pariser Fuß entsprechen; in Folge dessen sind 26 engl. Zoll gleich 24 Pariser und die noch übrigen 4 Pariser entsprechen 4 ¼ engl. Zollen, der Normalbarometerstand in der Meereshöhe ist also 30 ¼ engl. Zoll und diese sind genau gleich 28 Pariser, nach welchen am Barometer überall, wo es deren giebt, nur nicht in England, gemessen wird. Jemand, der sich aber herausnimmt, eine physische Geographie zu schreiben, muß das wissen, und wenn man es einer Dame verzeiht (wiewohl man ihr dann nicht zu verzeihen hätte, daß sie über so wichtige Gegenstände schreibt), so ist es unbegreiflich und unverzeihlich für Männer wie Faraday, Sabine u. A., daß erst Dove

ihnen die deutschen Barometer- und Thermometerangaben in ihrer Sprache, d. h. zwar in's Englische, aber auch zugleich in englische Barometer- und Thermometerzahlen übersetzen mußte. Erst seit dieser Zeit haben sie ein gewisses Interesse für deutsche Wissenschaft und Vieles von ihrer Nichtachtung der Kenntnisse des Auslandes kommt von ihrer Isolirung in Maß, Gewicht, Barometer und Thermometer-Eintheilung.

Reduction der Scalen.

Um uns nicht gleichen Unrechts schuldig zu machen, wollen wir eine vergleichende Scala der drei gebräuchlichen Thermometer hier geben; man sieht, daß die beiden ersten immer bei 4 und 5 mit einander übereinstimmen, 4 Grade R. von unten bis oben 5 Graden C. gleich sind, ferner daß 9 Grade der Fahrenheit'schen Scala gleich 5 C. oder 4 R. sind, welches sich einfach daraus ergiebt, daß 9 in 180 so viel mal aufgeht, als 5 in 100 oder als 4 in 80, nämlich 20 mal.

Fig. 10.

Man sieht jedoch auch zugleich, daß diese Bestimmung wohl ausreicht, um zu sagen, wie viel Grade des einen gleich sind einer gewissen Anzahl von Graden des andern, daß man jedoch sehr fehl gehen würde, wenn man sagen wollte, + 20 Grad C. sei gleich 36 Grad F., denn die Scala des Fahrenheit'schen Thermometers giebt, wie wir auf den ersten Blick sehen, dafür eine ganz andere Zahl an, nämlich 68.

Dies kommt von dem anders liegenden Nullpunkt. Man sieht, daß zwar bei der Réaumur'schen wie bei der Celsius'schen Scala der Nullpunkt auf derselben Linie liegt, keineswegs aber bei der Fahrenheit'schen Scala: — 4 Grad R. ist also zwar gleich — 5 Grad C., aber keineswegs — 9 Grad F., obwohl sie mit diesem neunten Theilungsstriche sonst übereinstimmen, allein die Fahrenheit'sche Scala zählt bei 0 die Zahl 32. Bei — 5 also 9 weniger als 32, doch keineswegs — 23, sondern + 23 und bei 10 Grad C. immer noch nicht —, sondern wie bisher + 14 F. und bei — 15 Grad C. noch immer + 5, diese

werden nun von den nächsten 3 Grad der C.-Scala absorbirt, so daß bei — 18 C. auf der Fahrenheit'schen Scala 0 steht.

Dies macht die Reduction complicirter als man denken sollte, wenn man sich jedoch ein- für allemal merkt, daß 9 Fahrenheit'sche Grade gleich sind 5 oder 4 der C.- oder R.-Scala und daß, um die Zahl der C. oder R. zu finden, man vor allen Dingen, ehe man die Fahrenheit'sche Zahl dividirt, die 32 Grade abzuziehen hat, welche bei ihr unter dem allgemein angenommenen Nullpunkt liegen, so wird die Sache doch wieder leicht.

Also z. B. wie viele Grade C. sind 77 Grad F. gleich? Ich ziehe 32 Grad von 77 ab, bleiben mir 45; diese dividire ich mit 9, giebt 5 zum Quotienten, den Quotienten aber multiplicire ich mit 5, so erhalte ich 25. Dies ist diejenige Temperatur nach C., welche genau den 77 Graden F. entspricht.

Gesetzt ich habe die Zahl 86 und will wissen, welchen Graden nach R. sie entspricht, so ziehe ich immer wieder 32 Grad von 86 ab, bleiben 54. Ich dividire dieselben durch 9, giebt als Quotienten 6, diese 6 multiplicire ich bei R.-Scala mit 4 und erhalte 24 Grad, welches vollkommen genau gleich 86 Grad F. ist, nicht 86 Graden, sondern dem 86sten Grade; denn 86 Grade, wo es auch sei, aus der Scala genommen, sind gleich 39 ¼ Grad R. Dies will man jedoch gar nicht weiter wissen, sondern man will die Temperatur nach R. kennen, welche dem 86sten Grade nach F. entspricht, das ist die obige.

Will man negative Thermometergrade des Fahrenheit'schen Thermometers auf unsere Scala bringen, so befolgt man dasselbe Verfahren, allein man addirt 32 Grade dazu. Gesetzt man habe —40 F. und soll sie auf R. bringen, so addirt man zu 40 noch 32, macht 72, diese dividirt man mit 9, giebt 8 und diesen Quotienten multiplicirt man mit 4, so hat man 32 Grade R. oder multiplicirt sie mit 5, so hat man 40 Centesimalgrade.

Das Verfahren, unsere gebräuchlichen Grade auf Fahrenheit'sche zu bringen, kommt nicht leicht vor, ist jedoch eben so einfach. Man nimmt für je 5 oder 4 C. oder R., 9 für die F.-Scala und addirt dann noch 32 dazu. Gesetzt man habe 20 Grad R., so nimmt man 5 (welches die Zahl ist, in der 4 in 20 aufgeht) mal 9, d. h. 45 und zählt dazu die 32, welche Fahrenheit unter Réaumur's Nullpunkt hinabsteigt, macht 77 und diese 77 Grade entsprechen genau den 20 Graden R.

Wären jene 20 aber nicht Réaumur'sche, sondern Centesimalgrade, so werden nun die 9 nicht mit 5, sondern mit 4 multiplicirt, man hat dann 36, dazu 32, macht 68 und dies ist genau die Zahl am Fahrenheit'schen Thermometer, welche den 20 Graden C. entspricht.

Der Einfachheit wegen haben wir lauter ganze Zahlen genommen, man sieht, daß sich dies eben so auf die Brüche ausdehnen läßt: 78 Grad F. sind gleich 20¼ Grad R.

Wenn die Vergleichsscala sehr genau getheilt ist (was man übrigens von Xylographen sehr schwer erhält), so bedarf es der Rechnung gar nicht, das ist dann einer von den Gegenständen, welchen die Engländer „for practic man" nennen, d. h. für Leute, welche nicht rechnen können. Bei ihnen nämlich kommt es gar nicht darauf an, ob Jemand alle Schulen und Universitäten besucht und den Doctorhut erworben oder gekauft hat, sondern lediglich darauf, daß er seine Sache versteht. Wenn er nun bei seinem Gewerbe des Rechnens bedarf, so kauft er sich einen Rechnenknecht „for practic man" und wenn er die specifischen Dichtigkeiten verschiedener Flüssigkeiten gegen einander abwiegen muß, so kauft er sich ein Tausendgranfläschchen for practic man und er wird damit viel leichter fertig als wir mit unserer Analysis infinitorum. Daß die Engländer selbst practische Leute sind, wird ihnen Niemand bestreiten, und weil sie es sind, wissen sie den practischen Mann zu schätzen und ihm seine Arbeit zu erleichtern, wir in Deutschland sind im gewöhnlichen Leben auch endlich so weit gekommen und darum ist unsere ganze Industrie und Technik auch im raschesten Fortschreiten und hat in vielen Fällen die der Engländer eingeholt, in manchen schon weit überboten. Wenn es so weit gekommen sein wird, daß man von den Primanern nicht Griechisch und Hebräisch, Integral- und Differentialrechnung, wohl aber lebende Sprachen, Geographie, Zeichnen und Schreiben verlangt, dann wird es bei uns auch besser sein.

Material der Scala.

Man wird gern eine Theilung haben, welche selbst den Veränderungen durch die Wärme nicht so sehr unterliegt als der thermoscopische Körper. Metall dehnt sich in den Strahlen der Sonne von dem kältesten Punkte, den wir ungefähr haben, — 20 Grad R., bis zu dem wärmsten im Schein des Tagesgestirns, bis zu 36 Grad, so sehr aus, daß die Thermometerbeobachtung dadurch wirklich ungenau wird. Holz wäre das beste in Hinsicht auf Veränderung durch die Wärme, nicht so wegen der Feuchtigkeit, denn durch diese dehnt es sich aus und von dieser befreit schwindet es so, daß es dadurch allein zu Maßstäben unbrauchbar wird. Allerdings trifft dies Quellen und Schwinden nur die Querdimension, nicht die Längenrichtung des Holzes, allein schon dies ist wegen des Veränderns der Form, *Verbiegen, Werfen* so störend, daß man darum sich nicht des Holzes be-

dienen kann, dazu kommt noch die leichte Verletzbarkeit der weichen Substanz, welche durch Wetterveränderungen, durch Regen, Wind, Frost, Sonnenschein wirklich angegriffen wird, die Oberfläche verändert und die Theilstriche um so schneller verwischt, unkenntlich macht, je feiner sie sind.

Um dieser Bedenklichkeiten willen nimmt man gern Glas zur Theilung, paßt das Thermometer ein, bohrt an den nöthigen Stellen Löcher, ein großes für die Kugel, ein kleines für die Spitze und vier an den Seiten, um mittelst messingener Klammern die Röhre befestigen zu können. Diese sind dem Verfertiger nicht selten sehr hinderlich, er weiß nicht, wohin er sie legen soll, jedenfalls so tief und so hoch wie möglich, damit sie außerhalb der Scala stehen, unter den niedrigsten und über den höchsten Graden. Wenn man dies vernachlässigt, so hat man die Unannehmlichkeit, seine Beobachtung irgendwo durch einen Messingstreifen unterbrochen zu sehen.

Die Theilung auf Glas wird gewöhnlich durch einen ritzenden, kratzenden Diamant (der zum Schreiben gefaßt ist und nicht spaltet) gemacht, kann jedoch auch durch Flußspathsäure ausgeführt, kann geätzt werden.

Dies geschieht auf dreierlei Art: entweder läßt man sich in der Apotheke Flußspathsäure bereiten und verdünnt sie dann mit destillirtem Wasser (jedenfalls die theuerste Methode), oder bereitet sich die Säure selbst, oder endlich wendet man die Dämpfe der Flußspathsäure an.

Glasätzen.

Für alle drei Fälle muß zuerst das Glas vollständig gegen die fressende Einwirkung der Säure (der einzigen, welche gutes Glas entschieden angreift) geschützt werden. Dies geschieht am besten, indem man fetten Copalfirniß sehr dünn aufträgt, trocknen läßt, noch einmal aufträgt und damit so lange fortfährt, bis die Bedeckung das Glas undurchsichtig gemacht hat. Doch darf nicht früher eine neue Schicht aufgetragen werden, als bis die vorhergehende wirklich vollständig getrocknet ist.

Man pflegt nun die gefirnißte Fläche noch mit Lampenruß zu schwärzen, allein dies ist jedenfalls sehr unangenehm, indem die so gefärbte Fläche, auf welcher man zeichnen soll, schrecklich schmutzt, überdies aber ist es wirklich unnöthig, denn die Firnißfläche ist so dunkel, daß man auch den feinsten Strich, den man mit einer Nadel gezogen, gegen untergelegtes weißes Papier sehr gut erkennt.

Auf dem trocknen Firniß (der übrigens die schöne Eigenschaft hat, zähe zu sein, beim Kratzen dem Stift nachzugeben und nicht zu splittern) entwirft man nun die *Zeichnung*. Man hat gewöhnlich die Theilung auf Papier

gemacht, dieſes mußte aber geſpannt in einen Rahmen gebracht und gerade geſtreckt ſein. Die Zeichnung durchſticht man mit einer feinen Nadel an allen Punkten, wo zwei Linien ſich durchſchneiden; die langen nämlich, welche das Thermometer von beiden Seiten begleiten und die Abſtufungen für die einzelnen Gradſtriche, die Fünfer und die Zehner abgeben, und die kurzen, welche die Gradſtriche ſelbſt ſind.

Nun legt man das geſpannte Papier, ohne daſſelbe aus dem Rahmen zu nehmen, auf die gefirnißte Glasfläche und pudert aus einem Beutelchen von dünner, getragener Leinwand Bleiweiß auf daſſelbe, ſo durchdringt dieſes das Papier bei den Nadelſtichen und punktirt weiß auf dunklem Grunde. Da der Firniß eine gewiſſe Klebrigkeit behält, wenn er nicht ſehr lange getrocknet iſt, ſo haftet das Bleiweiß ſehr gut daran.

Man kann auch die Zeichnung mit weißer oder wther gummifreier Farbe auf dunkles Papier bringen und dann die beſchriebene Seite auf die gefirnißte Fläche legen und durch gelinden Druck und leichtes Reiben einen Abdruck auf dem Firniß hervorbringen; in beiden Fällen aber hat man mit der größten Sorgfalt darauf zu ſehen, daß die Zeichnung an die richtige Stelle kommt; man muß daher wiſſen, auf welche Linie der Siedepunkt, auf welche der Kochpunkt kommt und dieſe beiden Punkte müſſen auf das Genaueſte mit den gleichnamigen auf der Zeichnung zuſammenfallen.

Hat man auf dieſe Weiſe die Zeichnung mit Farbe übertragen, ſo ſorgt man nun dafür, daß die Stellen, die ſo mit Punkten oder mit Linien bezeichnet ſind, von dem Firniß entblößt werden. Man nimmt eine ſogenannte kalte Nadel, eine in Holz gefaßte Stricknadel von gutem Stahl, welche genau ſo ausſieht wie ein Bleiſtift, nur keinen Graphit, der abgiebt, als ſchreibende Subſtanz hat, ſondern einen Stahlſtift, der abnimmt.

Mit dieſem ſcharf geſchliffenen Stift fährt man längs eines metallenen Lineals über dem Firniß hin und nimmt damit die ſchützende Decke bis auf die Glasfläche hinweg. Iſt die ganze Zeichnung ſo fertig geworden und hat man auch die Zahlen und Buchſtaben oder die ſonſt unumgänglich nöthige Bezeichnung „Thermometer nach Celſius, verfertigt von — —“ (wie nun gerade unſer werther Leſer heißt) „nach Zimmermann's Angabe getheilt und auf Glas geätzt im Mai oder Juni des Jahres 1857“ hinzugefügt, ſo kann das Aetzen beginnen.

Man macht um das Glas einen Rand von Wachs und gießt die in einem Bleigefäß aufbewahrte, etwas verdünnte Flußſpathſäure auf die Fläche. Nach kurzer Zeit wird man alle Striche ſchneeweiß erſcheinen ſehen, dann iſt es Zeit, die Säure zu entfernen; man ſpült nun die noch übrige Flüſſigkeit *mit Waſſer ab, entfernt* den Firniß durch Kratzen mit einem ſcharfen, aber

runden Messer (weil die Spitze, wenn sie von gutem, harten Stahle ist, leicht in das Glas ritzen kann) und wird nun die Zeichnung weiß auf dem durchsichtigen Glase ersehen.

Oder man macht einen Rand von Wachs um die Tafel, streut fein gepulverten Flußspath darauf, bis alles bedeckt ist, und gießt nun ziemlich starke, nur wenig verdünnte Schwefelsäure darauf, deckt aber das Ganze mit ein Brettchen und mit nassen Lappen zu, so daß die Dämpfe nicht entweichen können, welche sowohl für die Gesundheit, als für alle Metalle und für alles Glas (Fenster, Spiegel, Kupferstiche) höchst gefährlich sind. Man thut der angeführten Gründe wegen auch am besten, die Aetzung entweder im Freien oder in einer gänzlich unmöblirten Kammer und bei offenen Fenstern vorzunehmen.

Hier ist es schwieriger, den rechten Zeitpunkt zu treffen, daher man mit der Uhr in der Hand die Dauer der Wirkung an einem andern Stück Glas, von derselben Art, ausprobirt haben muß. Mit dieser Erfahrung wird man auch bei dem ersten Versuche schon etwas Gelungenes erzielen.

Die dritte Methode ist eigentlich die leichteste, mittelst der Dämpfe von Flußspathsäure zu ätzen. Man breitet zwei auf einander gelegte Blätter starkes neues Tabaksblei in einen hinlänglich großen Schachteldeckel so aus, daß rundum ein ½ Zoll hoher Rand entsteht. Die ganze Größe des Deckels, der sich nach der Länge der zu ätzenden Scala richtet, muß durch ein Blatt bedeckt werden, man darf nicht zwei neben einander legen; sollte man für größere Dimensionen nicht ausreichende Bleiplatten bekommen, so muß man sich dann so helfen, daß an die Stelle, wo die beiden an einander stoßenden Blätter (es versteht sich, daß wenn sie nicht sehr dick sind, jederzeit doppelt genommen werden müssen) sich berühren würden, dergestalt aufrecht biegt, daß der Schachteldeckel nun zwei halbe Bleideckel einschließt, von denen jeder da, wo er an die andere Hälfte stößt, einen erhabenen Rand hat.

Man schüttet nun auf diese Bleiplatte Flußspath in Pulverform, bringt darauf Schwefelsäure mit etwas Wasser verdünnt und legt die mit der Nadel geritzte gefirnißte Fläche des Glases auf den offenen Deckel.

Hierbei, da die Dämpfe viel stärker wirken, als die flüssige Säure, muß man die ganze Glastafel auch auf der Rückseite mit Firniß überziehen und das Entweichen der flußspathsauren Dämpfe durch Bedeckung verhindern. Die Lappen, mit denen man dies gethan, sind allerdings auch verloren, denn sie werden ganz zerfressen, aber es ist doch besser, daß dieses geschehe, als daß ein kostbarer Spiegel für immer blind ist und dem kein *Poliren, Waschen, Putzen* mehr hilft. Man thut deshalb hier noch mehr

wie bei den andern Methoden wohl, die ganze Operation im Freien vorzunehmen.

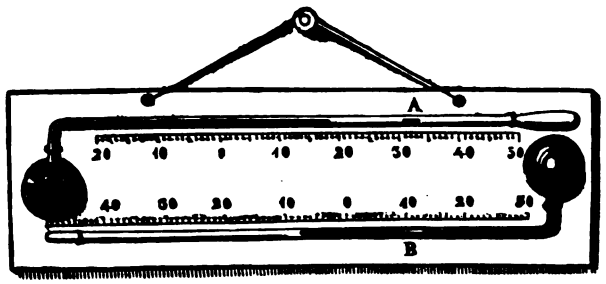
Iſt man geſchickt in Führung des Schreibediamants, ſo bedarf es dieſes Umweges nicht, um die Zeichnung auf Glas zu erhalten; man macht die Theilung dann unmittelbar auf demſelben, indem man mit Hülfe eines Lineals die nöthigen Striche zieht. Wenn man die Theilung auf Papier macht, dieſes unter das Glas legt und nun oben auf der Glasfläche die Striche nachzieht, welche man ſieht, ſo wird man ſehr leicht paralactiſche Fehler machen und die Grade werden deshalb ſehr ungleich ausfallen.

Regiſterthermometer.

Ein ſehr wünſchenswerthes Inſtrument wäre ein Thermometer, welches ſelbſt ſeinen Stand regiſtrirte. Ein Maximum- und ein Minimumthermometer hat man ſchon lange und in neueſter Zeit iſt es gelungen, durch Anwendung des Lichtes, auf empfindliches Papier ſogar ein Thermometer zu haben, welches unaufhörlich ſchreibt.

Die erſteren ſind gewöhnlich mit einander vereint; Fig. 11 zeigt dieſelben, wie ſie in einer zu Beobachtungen nothwendigen Lage neben einander

Fig. 11.



auf derſelben Scala befeſtigt ſind. Das Maximumthermometer (welches den höchſten Standpunkt angeben ſoll) iſt mit Queckſilber gefüllt und hat in dem luftleeren Raum ein kleines Drahtſtiftchen von Eiſen, *A*, ſo dünn, daß es leicht in der Röhre hin und her läuft. Vor der Beobachtung ſtellt man das Thermometer einen Augenblick ſenkrecht, daß der Stift auf die Queckſilberfläche herab fällt, dann ſtellt man es wieder horizontal. Wie nun die Temperatur ſteigt, ſo ſchiebt das ſich ausdehnende Queckſilber das Drahtſtiftchen vor ſich her, und wenn das Queckſilber nun zurückſchreitet, ſo bleibt das Stiftchen an derjenigen Stelle liegen, an welche es geſchoben worden iſt; *man ſieht alſo* nach 24 Stunden oder nach 30 Tagen gleichviel, den

höchsten Punkt, welchen während der Zeit von einer Beobachtung zur andern das Queckſilber angenommen hat. Man wird, wenn man überhaupt Thermometer-Beobachtungen macht, die Zeiträume nicht zu lang laſſen, allein, wie lang ſie immer ſein mögen, den höchſten Stand erhält man doch.

Das zweite Thermometer dient, um den niedrigſten Stand zu erſehen; dies iſt nicht mit Queckſilber, ſondern mit Weingeiſt gefüllt. Im Innern deſſelben, in der Röhre, liegt, ſo wie bei dem erſten ein Drahtſtiftchen, ſo ein Glasſtiftchen *B*, jedoch ein hohles, an beiden Enden zugeblaſenes, damit es deſto leichter ſei und von dem Weingeiſt bequemer mitgenommen werden könne.

Hier iſt der Vorgang ein anderer. Im erſten Falle ſtieß die geſchloſſene Queckſilberfläche das Metall *vor* ſich her, in dieſem zweiten Falle ſoll die Oberfläche des Weingeiſtes das im Innern deſſelben liegende Glasſtäbchen *mit ſich zurück nehmen*.

Es tritt hier die bekannte Eigenſchaft aller Flüſſigkeiten auf, nämlich die, daß ſie an der Oberfläche eine viel größere Cohäſion, einen viel feſteren Zuſammenhang der Theilchen unter ſich zeigen als im Innern der Flüſſigkeiten vorhanden iſt. Eine Nähnadel in das Waſſer gebracht, fällt darin bis zum Boden herab; dieſelbe Nähnadel horizontal gehalten, bis in die möglichſte Nähe der Waſſerfläche gebracht und dann fallen gelaſſen, bleibt auf der Oberfläche liegen, obwohl der Stahl gegen acht Mal ſchwerer iſt als das Waſſer; ja wenn das Glas, worin man dies Experiment macht, nicht angeſtoßen wird, ſo bleibt die Nadel Tage lang auf der Oberfläche liegen.

Auf dieſe Eigenſchaft ſtützt ſich die Anwendung des Minimumthermometers. Innerhalb des Weingeiſtes ſinkt das Glasröhrchen ſtets zu Boden und wird beim Steigen des Thermometers dahin gebracht, wohin man es haben will, alſo wenn man das Rohr mit der Spitze nach unten hält, auch bis an die Oberfläche des Weingeiſtes. Nun aber ſteht ihm die hier auftretende größere Cohäſion der Theilchen des Weingeiſtes im Wege, es fällt nicht hindurch, es bleibt auf der inneren Fläche ruhen.

Legt man nunmehr das Thermometer horizontal, ſo nimmt der Weingeiſt beim Zurückgehen, beim kälter werden, das Glasröhrchen mit ſich, weil die feſter zuſammenhängende Oberfläche nicht durchbrochen werden kann. Beim Vorwärtsgehen aber läßt der Weingeiſt, welcher das Glasſtäbchen ganz umfließt, daſſelbe an der Stelle, an welche es der zurückgehende Weingeiſt gezogen hatte, liegen, und ſo erfährt man durch dieſes Inſtrument in jedem beliebigen Zeitraum, alle Stunde, alle Tage, alle Monat, den höchſten und den niedrigſten Stand des Thermometers. Iſt die Beobachtung gemacht, ſo wird das Inſtrument ſo lange ſenkrecht gehalten, bis die beiden

Stiftchen an die Oberfläche der Flüſſigkeit gekommen ſind und man legt es nun wieder horizontal, worauf es zur neuen Beobachtung für den nächſten Zeitraum fertig iſt.

Photographiſches Regiſterthermometer.

Die andere Methode iſt höchſt ingeniös und zeigt recht deutlich, wie glücklich ſich Wiſſenſchaft und Kunſt vereinigen, wie erſt in dieſer Vereinigung das Vollkommenſte geleiſtet werden kann.

Die Phyſik und die Chemie wiſſen ſchon lange, daß ſalzſaures Silber, ſogenanntes Hornſilber, dem Lichte ausgeſetzt, ſchwarz wird. Die lockere Verbindung des Silbers mit dem Chlor wird durch das Licht gelöſt, das Silber wird reducirt, deshalb verwahrt man Hornſilber in einem mit ſchwarzem Papier überklebten Glaſe.

Eine Auflöſung von Hornſilber auf Papier gebracht, theilt dieſem die Eigenſchaft, empfindlich gegen das Licht zu ſein, mit. Es iſt dies die Grundlage der Photographie, welche durch Daguerre nur vervollkommnet und mittelſt Jod und Brom, welche noch empfindlicher ſind, auf Metall übertragen wurden, indeſſen Talbot beim Chlorſilber und beim Papier blieb.

Wenn man dieſes empfindliche Papier nun hinter ein Thermometer mit einer Glasſcala hält, ſo wird das Licht alle diejenigen Stellen brennen und ſchwärzen, auf welche es durch die Glastafel ungehindert fallen kann; diejenigen Stellen aber, auf welche der Schatten des Queckſilbers in der Röhre und der in das Glas geätzten undurchſichtigen Theilſtriche fällt, werden weiß bleiben. So hat man in wenigen Secunden ein getreues Abbild des ganzen, zu dem Experiment gebrauchten Thermometers mit weißen Zeichnungen auf ſchwarzem Grunde.

Wäre dies die ganze Kunſt der Beobachtung, ſo hätte man allerdings nicht viel gewonnen, hinſehen und eine Zahl notiren iſt allerdings leichter. Allein man kann das empfindliche Papier ja auf einen Cylinder bringen, welcher ganz mit Blech umſchloſſen, nur an einer Stelle einen Spalt hat, der gerade hinter dem Thermometerrohr ſteht und von der Scala nichts weiter giebt als die an das Rohr unmittelbar anſtoßenden Theilſtriche. Wenn man nun das Papier im Cylinder langſam umdreht, ſo kommt nach und nach eine andere Stelle des Papiers vor die Oeffnung und man erhält nun einen rundum geſchwärzten Cylinder, der nur an den Stellen der Theilſtriche und des Queckſilberſtandes weiß iſt.

So macht man es denn auch. Ein Uhrwerk dreht einen Cylinder, *auf welchen ſich* das Papier aufrollen ſoll, in 24 Stunden zwei oder drei

mal um (so oft man es für nöthig hält und so lang man die Nichtzeichnung für einen jeden Tag haben will), und wickelt so das empfindliche Papier von einem anderen gleich großen, der durch einen Seidenfaden auf einer Rolle gehemmt ist, so daß er nicht von selbst abläuft und der das noch ungeschwärzte empfindliche Papier enthält, ab. Es geht demnach so, wie das Uhrwerk es verlangt, das Papier bei dem Spalt, den das Thermometer genau zudeckt, vorbei, und empfängt auf diese Weise den Lichteindruck, der, da die Striche zugleich mit aufgezeichnet sind, auf die trefflichste Weise ein Abbild des ganzen Ganges des Thermometers während eines Tages giebt.

Während eines Tages? also nicht bei Nacht? was ist das für ein Instrument, das mich bei Nacht verläßt? Es ist nicht ganz so schlimm. Man stellt dem Thermometer gegenüber, in einigen Fuß Entfernung, eine gute Argand'sche Lampe, welche im Focus eines Hohlspiegels steht, und so wird auch während der Nacht der Apparat beleuchtet. Man kann es den Meteorologen gar nicht bequemer machen. Sonst waren sie Sclaven der gegen sich selbst übernommenen Verpflichtung, sie mußten Morgens, Mittags, Abends, wo möglich auch noch in der Nacht das Thermometer beobachten, durften sich also nicht länger als 6 Stunden von Hause entfernen; jetzt zieht man die Uhr auf und braucht sich acht Tage lang nicht darum zu bekümmern, denn man sieht sehr leicht, daß auch die Stunde angegeben werden kann, sei es auch nur durch die Länge des Papierstreifens, der abgewickelt ist.

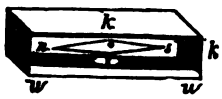
„Ja," sagt mein sehr verständiger Leser, „bis hierher wäre Alles gut, aber die Beleuchtung des Apparates aus so geringer Entfernung und durch einen Hohlspiegel verstärkt, muß ja nothwendig den Gang des Thermometers verändern." Gewiß, und dies ist auch bedacht worden, aber für die Physik auf ihrem jetzigen Standpunkte giebt es dergleichen Schwierigkeiten nicht mehr. Man kittet zwei recht klare, gleich große Glasscheiben so an einander, daß ein Raum von ein Zoll etwa zwischen ihnen übrig bleibt, also ein sehr schmaler Glaskasten entsteht. In diesen Kasten füllt man reines Wasser und stellt ihn als Schirm zwischen das zu beleuchtende Thermometer und der Argand'schen Lampe. Die Verbindung von Wasser und Glas läßt das Licht nur wenig geschwächt hindurch und absorbirt die Wärme so vollständig, daß auch nicht der mindeste Effect mehr auf das Thermometer hervorgebracht wird.

Durch diesen Schirm wird das empfindliche Papier nun so gut beleuchtet, daß es sich schwärzt wie im Tageslichte und der Gang des Thermometers leidet keine Veränderung.

Der Thermomultiplicator.

Ein höchst wichtiger Gegenstand für feinere Untersuchungen der Wärme ist das von Melloni mit so großer Geschicklichkeit angewendete Instrument, der Thermomultiplicator, dessen Grundlage *k w* bei der Lehre von der Elektricität bereits besprochen worden ist. Die geringfügige Erwärmung, welche man einer der Löthstellen *w w* durch Berührung mit dem Finger geben kann, genügt, um eine Magnetnadel *n s*, welche zwischen den beiden Metallen, Kupfer *k* und Wismuth *w* oder Wismuth und Antimon steht, von ihrer natürlichen Richtung abzulenken.

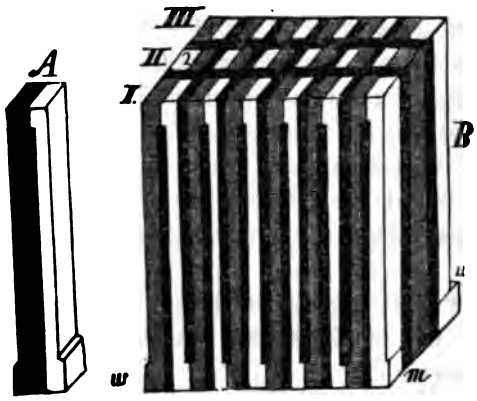
Fig. 12.



Noch viel empfindlicher wird solch ein Apparat, wenn man die eine der beiden Löthstellen ganz weg läßt, dagegen an den offenen Enden der Gabel aus Wismuth und Antimon die Drähte eines Multiplicators befestigt. Wird nun auch nur der Hauch des Mundes aus der Entfernung von ¼ Elle gegen die Löthstelle gelenkt, so wird man schon eine Abweichung der Magnetnadel sehen. Die Erwärmung der Löthstelle bringt einen elektrischen Strom hervor, dieser vervielfältigt sich in den Windungen des Multiplicators und lenkt so die Magnetnadel ab.

Es lag die Frage, ob man nicht durch Vermehrung der Paare von ungleichen Metallen, eine Verstärkung des Stromes erzielen könne, ziemlich nahe, geschah ja doch Aehnliches durch Vermehrung der galvanischen Plattenpaare. So wurden nun mehrere Doppelstreifen und zwar immer von Antimon und Wismuth, als den am stärksten wirkenden Metallen, angefertigt und im Gegensatz zu den einfachen Plattenpaaren, welche man thermoelektrische Ketten nannte, bildete man aus vielen solchen thermoelektrische Säulen.

Fig. 13.



In *A*, Fig. 13, sieht man eine zu solchem Behufe geformte Kette. Diese sechs mal in einer Reihe an einander gefügt, giebt uns eine Abtheilung solcher Säulen und wir sehen an denselben *I* ganz deutlich, auf welche Weise sich jedes Paar an das andere schließt; die zweite Reihe, *II*,

und die dritte, *III*, ſind eben ſo conſtruirt, allein auch die ganze erſte Reihe iſt mit der zweiten und die ganze zweite mit der dritten in Verbindung geſetzt. Schließlich werden die achtzehn Paare des ganzen Apparats *B*, den man, ſo wie er da iſt, eine Thermoſäule nennt, durch die beiden äußerſten Enden *w* und *u* mit einem Multiplicator von recht gut leitendem Kupferdraht und nicht zu vielen Windungen in Verbindung geſetzt, um an denſelben die Angabe des Apparates zu erkennen.

Nur zu einzelnen beſtimmten Zwecken, z. B. um ſtärkere elektriſche Wirkungen dadurch zu erzielen, macht man die Säulen ſo groß, wie hier beſchrieben; gewöhnlich werden dieſelben viel kleiner und da es nicht auf große Wismuthmaſſen, ſondern namentlich bei ſehr feinen Wärmebeobachtungen lediglich auf die Zahl der Löthſtellen, welche gleichzeitig in Wirkung treten, ankommt, ſo dürfte man die Wismuth- und Antimonſtäbchen ſo ſchwach wie Stecknadeln machen, und könnte man die Zahl der Löthſtellen auf einige Hundert vermehren, ſo hätte man gerade hierin etwas ganz Vortreffliches. Die Fig. 14 giebt ein annäherndes Bild ſo einer kleineren Säule; es ſind in der Kapſel *R*, wie wir ſehen, doch wenigſtens 30 Löthſtellen enthalten, alſo 60 Stäbchen, das giebt ſchon eine nicht unbedeutende Vermehrung der Elektricitätserregung; allein in der hier ausgeführten natürlichen Größe des Apparats haben geſchickte Mechaniker ſchon 65 Paare vereinigt. Eine ſeltene Vollkommenheit.

Fig. 14.

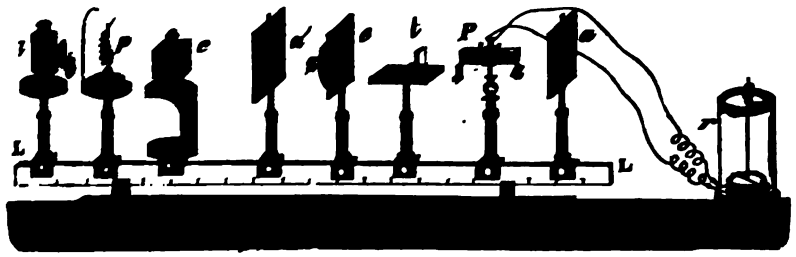
Verſuche mit der Thermoſäule.

Um mit dieſem Inſtrumente die Verſuche anzuſtellen, mittelſt deren man die geringfügigſten Grade von Wärme zur Anſchauung bringen kann, giebt man ihm eine Verbindung mit einigen andern Hülfsapparaten, die man in folgender Zuſammenſtellung erhält.

Man ſieht auf der folgenden Seite, Fig. 15, ein Brett, das in der Mitte einen langen Meſſingmaßſtab *L L* hat, auf welchem eine Reihe von Ständern, von ziemlich gleicher Größe, beweglich iſt. Neben dieſem Brette ſteht der Zeiger des Apparates, ein höchſt empfindliches Galvanometer *r*; die Drähte deſſelben *ar*, aus der ſchützenden Glocke heraustretend, gehen durch die Spiralen (welche keinen andern Zweck haben, als die Leitung bequem verlängern, das Galvanometer beliebig ſtellen zu können nach den beiden Enden einer Thermoſäule *p*, welche in eine Kapſel eingeſchloſſen iſt. Der Ständer,

auf welchem die Säule ruht, hat wie alle anderen, unten eine Schraube, iſt auch der ganzen Länge nach hohl und geſtattet, je nach dem Bedarf, durch

Fig. 15.



einen, die Höhlung ausfüllenden Stock, ein höher und niedriger Stellen des Apparates. Vorn und am Ende des kleinen viereckigen Kaſtens, welcher die Thermoſäule umſchließt, ſieht man einen herabhängenden Deckel, dies iſt ein in Charnieren auf- und ablaufendes Stückchen Glasſcheibe, welches geſtattet, den Apparat auf das Genaueſte mit allen anderen Theilen deſſelben zuſammen zu ſtellen, ohne daß derſelbe doch früher als man verlangt, eine Wirkung zeige, die erſt eintreten kann, wenn die Fläche der Thermoſäule, welche die Hälfte aller Löthſtellen in ſich vereinigt, frei iſt, um die Wärme, welche man auf ſie wirken laſſen will, aufzunehmen.

Ein inwendig polirter Kegel von Metall, den man benutzen kann, um ihn an diejenige Seite der Thermoſäule zu bringen, auf welche man ſehr ſchwache Grade von Wärme einwirken laſſen will, iſt des fehlenden Raumes wegen in der Figur nicht verzeichnet; er würde auf einer Seite von *P* anzuſetzen ſein. Würde z. B. in der Richtung dieſes kegelförmigen Spiegels, welcher parallel auffallende Strahlen nach der innerſten Spitze des Kegels wirft, eine ſehr ſchwache Wärmequelle ſtehen, z. B. eine eben aufblühende, ſich ſo eben entfaltende Blume, ſo würde die Wärme, welche ſie entwickelt, durch den Spiegel auf der Fläche des Thermoſcopes vereinigt, concentrirt werden und man würde das Galvanometer dieſes anzeigen ſehen.

Eben ſo gut könnte man den Spiegel auf die andere Seite bringen, es würde derſelbe Erfolg eintreten und die Abweichung der Magnetnadel in dem Galvanometer eine entgegengeſetzte ſein, weil der thermoelektriſche Strom ein entgegengeſetzter iſt.

Eben ſo würde man verfahren, wenn man die Wärme des Mondlichtes unterſuchen wollte, denn es handelt ſich um einen äußerſt ſchwachen Wärmeantheil, den dieſer Körper uns ſpiegelnd zuſenden könnte, zu concentriren. Melloni iſt es auch gelungen, eine ſolche Wärmequelle in dem

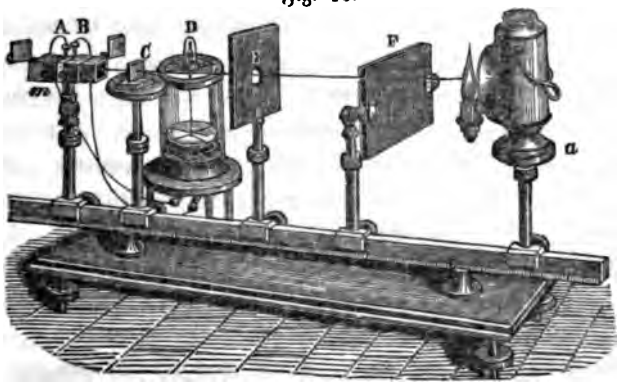
Monde zu entdecken. Er stellte dem Vollmonde gegenüber einen vortrefflich polirten Metallspiegel von 3 Fuß Durchmesser auf, brachte den polirten Kegel so an, daß die Strahlen des Spiegels in ihn hinein fielen, vor allen Dingen aber der eigentliche Focus des Brennspiegels die Platte der Löthstellen direct traf, wodurch die größtmöglichste Wirkung erzielt werden mußte, indem nun auch noch alle Randstrahlen durch den hohlen Kegel eben dahin vereinigt wurden.

Durch dies Mittel fand Melloni, daß die Richtung der Magnetnadel in dem Galvanometer verändert und daß dieselbe in dem Sinne der Wärme abgelenkt wurde. Es ist allerdings entsetzlich wenig, wenn man bedenkt, daß durch die Wärme, welche auf eine Spiegelfläche von 6 Quadratfuß fällt und auf die Größe eines $\frac{1}{4}$ Quadratzolles, d. h. bis auf den 3376. Theil reducirt ist (also die Wirkung, die der Mond direct ausübt 3376 mal vergrößert), und dann durch den abermals um das Tausendfache vergrößernden Multiplicator nichts weiter erzielt worden ist, als die Gewißheit, daß der Mond doch wohl Wärme aussende.

Strahlung, Durchstrahlung.

Anders verhält es sich, wenn man das Instrument zur Prüfung stärkerer Wärmequellen anwenden will; alsdann werden die zerstreuten Strahlen nicht gesammelt, sondern sie werden auf jede mögliche Weise abgehalten, entfernt; sie werden durch Schirme mit darin befindlichen Oeffnungen geblendet, so daß nur ein ganz bestimmter Antheil das Instrument treffen kann.

Fig. 16.



Die Fig. 16 giebt diese Anwendung. Der erste Ständer trägt eine Lampe *a* mit einem Hohlspiegel, durch welche eine bestimmte Menge Wärmestrahlen parallel nach dem Thermomultiplicator hingesendet werden.

Der nächste Ständer *p* trägt einen zwar Licht, aber nicht Wärme durchlassenden Schirm aus zwei Glastafeln mit dazwischen befindlichem Wasser bestehend, wie bereits oben beschrieben worden.

Der folgende Ständer trägt eine Metalltafel *E*, welche eine Oeffnung von einer beliebigen aber feststehenden Größe hat; es ist diese Tafel das, was in dem Fernrohr die Blendung ist; sie dient dazu, um ein genau begrenztes Strahlenbündel von der Lampe bis zu dem thermoscopischen Körper, d. h. auf die Thermosäule, fallen zu lassen, alle anderen Strahlen aber abzuwenden. Der erste Glasschirm wird aufgerichtet, wenn man den Schein der Lampe durch die Blendung auf die Thermosäule richten will, ohne sie zu erwärmen. Will man später die Wärmequellen selbst untersuchen, so legt man diesen Schirm seitwärts um, wie die Figur denselben grade zeigt oder hebt ihn aus seinem Ständer heraus.

Wir sehen außer den gedachten Ständern noch einen (den vierten in der Reihe von rechts nach links), welcher einen kleinen Tisch trägt. Dieser Ständer ist bestimmt, die Gegenstände *c* aufzunehmen, durch welche man die Wärmestrahlen hindurch schicken will, um zu untersuchen, wie stark sie die Wärme leiten.

Mittelst dieses sinnreichen Apparates hat man die interessantesten Entdeckungen über die Fähigkeit der Körper, Wärme durchzulassen, angestellt. So z. B. läßt Glas von der Hitze eines glühenden Metallkörpers, bei etwa ¼ Zoll Dicke circa 36 Procent hindurch (und diese Wärme geht ungeschmälert auch durch eine zweite Glasplatte). Läßt man diese durch Glas gegangene Wärme aber nun durch Wasser gehen, welches bei gleicher Dicke schon von der frei darauf wirkenden Wärme nur noch ½ Procent durchläßt, so ist begreiflich, daß aus dem ½ Procent nur ¼ Procent wird; dieses aber wird durch die zweite Glasplatte auch noch aufgenommen, so daß nun solcher Doppelschirm wirklich gegen die direkte Wärme schützt. Von leuchtender Wärme, z. B. den Strahlen einer Lampe, geht noch einmal so viel hindurch, allein die gedachte Zusammenstellung reducirt auch dieselbe auf ein Minimum. Durch Glas gehn von leuchtender Wärme, wenn dessen Dicke ¼ Zoll beträgt, 60 Procent; durch Wasser von ½ Zoll Dicke geht aber $\frac{1}{20}$. Theil derselben oder 5 Procent, diese aber aus 60 Procent genommen, reduciren sich auf 3 Procent. Die durch das Wasser gegangenen geringen Antheile werden in der zweiten Glasplatte auch noch zum größten Theile absorbirt, so daß auch für leuchtende Wärme ein Schirm, wie der beschriebene, treffliche Dienste thut.

Wir werden diesen Gegenstand näher berühren, konnten jedoch nicht *unterlassen* zu zeigen, wozu das freie Thermoscop, welches eben beschrieben,

anwendbar sei. Auf der vorigen Figur sind statt der Lampe noch andere Wärmequellen aufgestellt, bei einem wirklich ausgeführten Experiment müssen jedoch alle entfernt werden, bis auf diejenigen, mit welchen man experimentirt.

Nachdem wir uns mit den Mitteln, die Wärmemenge mit einander zu vergleichen, annähernd zu schätzen, oder wie man sich sehr kühn auszudrücken pflegt, zu messen, beschäftigt haben, wollen wir zu dem Gegenstande dieser Messungen selbst übergehen.

Wärme, Wärmestoff.

Die Wärme ist ein durchaus unbekanntes, unfaßbares und unwägbares Ding (wenn wir noch so sagen dürfen, von etwas so ganz Wesenlosem). Wenn der Verfasser nun auch, wie die Leser wohl schon bemerkt haben werden, ein Feind aller Speculationen, aller müßigen, in's Blaue hinauslaufenden Hypothesen ist und in dieser Abneigung dagegen sich aller Erklärungen des Unerklärlichen enthält, die Thatsache aber sprechen läßt, so wird sich Niemand wundern, daß der Verf. in andern Werken nie erklärt hat, was Magnetismus, was Elektricität ꝛc. sei. Es wird dem Verfasser eben so unmöglich sein zu sagen, was Wärme sei; allein bei diesem so mächtig in das Leben eingreifenden Gegenstand, wenn nicht zu sagen, was er sei, doch wenigstens mitzutheilen, was geistreiche Männer darüber gedacht, hält der Verfasser für seine Pflicht.

Was in alter Zeit gesagt worden ist, läßt sich ungefähr auf Folgendes zurückführen: Es giebt einen Wärmestoff, welcher dem Lichtstoff höchst nahe verwandt ist (der Lichtstoff ist eben so wenig erwiesen), doch keineswegs so gleich, daß einer für den andern gesetzt werden dürfte. Dieser Wärmestoff ist eine äußerst feine, höchst elastische Flüssigkeit, welchem aber alle die ursprünglichen Eigenschaften der Materie, Undurchdringlichkeit, Schwere, Adhäsion, Cohäsion, Härte ꝛc. abgehen, welcher von allen nur eine und diese im höchsten Grade hat, nämlich die Elasticität.

Dieser elastische Stoff, den man sich als ein sehr feines Fluidum dachte, war in allen Körpern vorhanden, in jedem in einem anderen, aber stets in einem bestimmten Verhältniß, denn der Körper hatte zu demselben eine große, aber sehr verschiedene Anziehung, daher die verschiedenen Aggregatzustände der Körper, welche zu ändern unmöglich, so lange das bestimmte Quantum Wärme mit dem respectiven Körper verbunden ist, die jedoch geändert wird, je nachdem man mehr Wärme mit dem Körper verbindet, als

in seinem natürlichen Zustande ihm gehört, oder ihm von der Wärme, welche ihm gebührt, etwas entzieht.

Die Hypothese war zu roh und zu grob, als daß sie in die neuere Zeit hätte übergehen können; sie machte einer andern Platz, nach welcher Licht und Wärme identische Thätigkeiten sind. Zwar ist es sehr mißlich, etwas Unerklärliches durch etwas anderes Unerklärliches begreiflich, faßlich machen zu wollen. Jemandem, der von dem Planeten Uranus nichts weiß, sagen zu wollen, es ist grade so ein Ding wie der Planet Neptun, wird den zu Belehrenden schwerlich sehr aufklären; allein man suchte sich zu helfen, indem man wenigstens die Wirkungsarten beider Thätigkeiten mit einander verglich und zeigte, wie dieselben in einander übergehen. Man sagt, dieser Stoff, dieses Fluidum (wie man es irgend zu bezeichnen suchte), erscheint uns als Licht, wenn es sich im Zustande freier, ungehemmter Bewegung findet; dagegen erscheint dasselbe Fluidum uns als Wärme, wenn es auf einen Körper stößt, der seine Bewegung hemmt, den es in sich aufnimmt (dieses Fluidum).

Es giebt auch unzweifelhaft mehrere Erscheinungen, welche für diese Ansicht sprechen. Das Licht bringt Wärme hervor und zwar um so mehr, je stärker man es concentrirt und je mehr der beschienene Körper davon verschluckt. Dieses Absorbiren ist aber stets mit Vernichtung der Strahlen verknüpft und steht im geraden Verhältniß zu dieser Verminderung des Scheines. Ein beschienener Körper wird um so mehr erwärmt, je mehr er von den leuchtenden Strahlen zum Aufhören des Leuchtens bringt.

Umgekehrt bemerkt man, daß auf sonstige Weise hervorgebrachte Erwärmung in das Leuchten übergeht, sobald die Temperatur hoch genug gesteigert ist. Das auffallendste Beispiel ist nicht das Erglühen von Metallen im gewöhnlichen oder im Kohlenfeuer (denn da war schon vorher Leuchten vorhanden und man könnte sagen, dies Leuchten wird auf den erhitzten Körper übertragen), sondern das Erglühen durch Reibung, durch Hämmern (verdichten) und endlich durch den elektrischen Strom und durch den Chemismus. In dem Hammer und dem Ambos, zwischen dem der geschickte Schmied durch schnelles Hämmern ein Eisenstäbchen zum Glühen bringt, in den beiden Stücken Holz, welche der Wilde als Feuerzeug benutzt und in dem Stahl und Stein, womit der Bauer seine Pfeife anzündet, ist nichts von Licht und von Leuchten zu finden, und doch kann man bei dem Feuerstrom, der aus einer Schmirgelscheibe des Messerschmiedes sprüht, wenn er ein Stück Stahl polirt, im Finstern lesen. Der Phosphor, welcher durch eine ganz geringe Friction zum Leuchten gebracht wird, das ätherische Oel, welches mit heller Flamme aufleuchtet, so wie nur ein Tropfen concentrirter

Salpetersäure darauf kommt, das Kupferblech, welches in Schwefelgas unter prächtiger Lichterscheinung verbrennt, sind wohl Beweise, daß die Körper unter Umständen durch Wärme leuchtend gemacht werden können. Das grellste Licht nach dem der Sonne ist aber das elektrische. Ein Draht, durch welches der elektrische Strom geht, wird warm, heiß, glühend und zerfließt in wenigen Secunden in lauter weißglühende Kügelchen. Die Spitzen zweier Kohlen, welche den elektrischen Strom ausgleichen, leuchten so stark, daß man sie zur Beleuchtung der Straßen und Plätze nicht anwenden kann, weil ihre Schatten zu schwarz sind.

So wie das Licht sich ferner durch Strahlen fortpflanzt, so auch die Wärme; sie kann gleich dem Lichte durch Linsen concentrirt, durch Prismen von ihrem Wege abgelenkt, durch Spiegel reflectirt werden und es gehört vielleicht nur ein etwas empfindlicheres Auge, als wir haben, dazu, um Wärme zu sehen, wie man Licht sieht. Umgekehrt giebt es, so viel wir wissen, keine Lichterscheinung, ohne daß zugleich Wärme bemerkt würde — der Mond, welcher bisher der einzige leuchtende und nicht wärmende Körper war, hat diese Stellung durch Melloni verloren.

Die neueste Ansicht stellt zur Erklärung aller Licht- und Wärmephänomene gleichfalls ein hypothetisches Fluidum, den Aether auf. Die Schwingungsbewegungen, in welche dieser versetzt wird, sind die Ursache der Licht- und Wärmeerscheinungen. Vergleicht man diese beiden unter einander, so findet man in ihnen eine große Uebereinstimmung. In demselben Körper existiren Licht und Wärme neben einander zu gleicher Zeit, erleiden dieselben Veränderungen und befolgen dieselben Gesetze; beide pflanzen sich im leeren Raume und in Luft von gleicher Dichtigkeit geradlinig, mit ungehemmter Geschwindigkeit fort und werden gebrochen, zerstreut, reflectirt, polarisirt, absorbirt nach denselben Gesetzen.

Auch zwischen Wärme und Schall zeigen sich auffallende Aehnlichkeiten. Beide werden durch Reiben erregt und den Körpern mitgetheilt, beide pflanzen sich strahlend fort, beide erleiden Reflexionen und beide werden beim Uebergange von einem Medium in das andere geschwächt. Eben so wie Schallstrahlen einen elastischen Körper zum Tönen bringen können, eben so vermögen Wärmestrahlen einen Körper zu erwärmen. Während ein Körper mit einem andern klingt, pflanzen sich die Schallwellen durch ihn fort, so wie ein durch Wärmestrahlen erhitzter Körper einen anderen Körper wieder erhitzen kann.

Da nun unwidersprechlich bewiesen ist (sagt Baumgärtner in seinem Lehrbuch), daß das Wesen des Schalles in Schwingungen bestehe und eine strahlende Fortpflanzung nur aus Schwingungen begreiflich wird, so fordern

die Regeln der Analogie anzunehmen, das Weſen der Wärme beſtehe ſo wie das des Schalles und Lichtes in den vibrirenden Schwingungen der Theilchen dazu geeigneter Körperſtoffe, die des Schalles in den Schwingungen der Luft, die des Lichtes und der Wärme aber in den Schwingungen des Aethers. Beim Lichte folgen die Schwingungen nur mit größerer Geſchwindigkeit auf einander als bei der Wärme; jene wirken auf den Sehnerv als Licht, ſo wie die vibrirenden Bewegungen tönender Körper als Schall auf die Gehörnerven ein, während der langſamer ſchwingende Aether für das Gemeingefühl nur noch die Empfindungen der Wärme erzeugen kann, ungefähr eben ſo wie ein ſchwingender Körper nicht mehr gehört wird, wenn er zu langſam ſchwingt, obwohl man ſeine Bewegungen ganz deutlich ſehen und fühlen kann.

Ob aber die Schwingungen des Aethers oder jene der Körpertheile oder beide zuſammen den Grund der Wärmephänomene enthalten, darüber ſind ſelbſt die Vertheidiger dieſer Anſicht nicht einig und dies iſt um ſo weniger wunderbar, als ſich in der Maſſe der Erſcheinungen, welche die Wärme darbietet, noch immer einzelne in nicht geringer Anzahl finden, welche durch dieſe Hypotheſen (obſchon ſie den ſtolzen Titel „Theorien" an der Stirne tragen) nicht erklärt werden können; dies iſt mit den bis jetzt bekannt gewordenen Erſcheinungen der Fall. Unzweifelhaft iſt jedoch, daß wir noch lange nicht alle Erſcheinungen kennen, unzweifelhaft, indem täglich eine vermehrte Menge von Thatſachen über dieſes räthſelhafte Weſen ſich häuft, wir alſo durchaus nicht ſagen können, daß wir die Wärme vollſtändig kennen und daß wir mithin dieſe oder jene Anſicht als die vollkommen und allein richtige anzuſehen haben, ja es iſt bei dem gewaltig fortgeſchrittenen Wiſſen unſerer Zeit doppelt nöthig, die höchſte Vorſicht in Annahme dieſer oder jener Hypotheſe walten zu laſſen, weil das ganze darauf geſtützte Gebäude durch irgend eine neue Entdeckung über Nacht umgeſtürzt werden kann.

Von den Quellen der Wärme.

Die Sonne.

Die wichtigste aller Wärmequellen, diejenige sogar, von welcher die Bewohnbarkeit der Erde abhängt, die Sonne, dürfen wir wohl zuerst betrachten.

Durch die Sonne erhält unser Planet, auch wenn wir die Quelle des Lichtes und der Wärme nicht sehen, also bei Nacht und bei bewölktem Himmel eine ungeheure Menge Wärme, wovon ein Jeder sich ja tausendmal überzeugt hat, da auch an einem bewölkten Sommertage die Temperatur auf 16 bis 18 Grad bleibt, auch in der Sommernacht selten unter 14 bis 15 Grad sinkt, überdies aber während der Nacht der einen Erdhälfte die andere Erdhälfte durch die Sonnenstrahlen beschienen und erwärmt wird.

Von der Helligkeit des Lichtes der Sonnenstrahlen und von der Zeit, während welcher sie den Körper, die Erde, bescheint, hängt die Stärke der Erwärmung eben so sehr ab, wie von dem Winkel, unter welchem ihre Strahlen auf den beschienenen Körper fallen. Dies ist der Grund unserer erhöhten Sommerwärme.

Zwar schmilzt auch im strengsten Winter (bei 20 Grad Kälte) ein auf den Schnee gelegtes Stück schwarzes Tuch darin ein; träufelt von dem Dache auch nicht der geschmolzene Schnee herab, so bildet er doch im Sinken wieder gefrierend die Eiszapfen, welche in ihrer lebensgefährlichen Mächtigkeit (man sieht mitunter deren zu hunderten in einer Reihe armsdick 4—5 Fuß lang) Zeugen sind von der Wirkungskraft der Sonne; allein steigt nur die Sonne höher und höher, wird aus dem Winter Frühjahr und Sommer, so sehen wir mit der Länge des Verweilens der Sonne über dem Horizont und mit dem Größerwerden des Winkels, der sich immer mehr dem rechten nähert, je näher die Sonne dem uns benachbarten Wendekreise kommt, auch die der Erde mitgetheilte Wärme steigen und je klarer die Luft ist, desto mächtiger ist die Insolation.

Die klare Luft nimmt von der Sonne selbst sehr wenig Wärme an, eine trübe Luft wird als Körper, der die Sonnenstrahlen absorbirt, durchwärmt; nicht selten wird man im Sommer, selbst im Schatten eines Hauses,

durch einen auffallend warmen Luftstrom berührt, das ist mit Feuchtigkeit beladene, nicht ganz durchsichtige Luft, welche von der Sonne so stark durchwärmt worden ist, daß sie an andere warme Körper, wie der menschliche, noch Wärme abzugeben vermag. Dies geschieht nicht, wo die Luft vollkommen klar bleibt, wie auf hohen Bergen. Die Wirkung der Sonne ist nach Sauſſure's Untersuchungen auf den höchsten Gipfeln der Alpen, die er viele hundert Male bestiegen, eben so wirksam und noch wirksamer als in den Thälern. Ein Thermometer, geschützt vor den Einflüssen der kalten Luft, des Reflexes vom Schnee ꝛc. steigt 8000 Fuß über der Meeresfläche eben so hoch als 500 Fuß über derselben, allein weil die Luft dort schon viel weniger körperlich, viel leichter ist, viel durchsichtiger, der Sonne weniger Gegenstand bietet, so wird sie selbst so sehr wenig erwärmt, daß sie dem menschlichen Körper nicht nur nichts abgiebt, sondern ihm noch überdies Wärme entzieht, daher es uns auf hohen Bergen immer kalt vorkommt.

Die senkrechte Richtung der Strahlen ist von höchster Bedeutung, das können wir an dem Unterschiede der Sonnenwirkung zwischen Morgen und Mittag wahrnehmen. Ein Thermometer giebt das nicht so an, wie es sollte, wenn es die hierzu richtige Form hätte, denn wie man es auch stellen mag, es ist eine Kugel und diese bietet in allen Lagen der beſcheinenden Sonne eine Hälfte dar, wenn man jedoch ein Thermometer construirt mit einem Gefäß, welches nicht rund ist wie eine Kugel, sondern möglichst groß und möglichst flach, also etwa wie ein Thaler, so wird man mittelst desselben den sehr großen Unterschied der Einwirkung senkrechter Sonnenstrahlen von den schräg auffallenden wahrnehmen.

Insolation.

Der practische Mensch weiß dies auch zu benutzen. Die Frühbeete, die sogenannten Treibkasten bedeckt der Gärtner mit sehr flach liegenden, nur wenig gegen den Horizont erhobenen Fenstern, er will die Wirkung der höher stehenden Frühlingssonne benutzen. Das Treibhaus aber verschließt er durch beinahe senkrecht stehende Fenster, damit die sehr niedrig stehende Wintersonne möglichst senkrecht auffalle.

Die lange Dauer des Sonnenscheins, vereinigt mit dem hohen Stande derselben, bringt uns den heißen Sommer und die Wirkung der Sonnenstrahlen ist dabei so mächtig, daß ein Thermometer, welches auf dem Erdboden liegt, selbst ganz leicht, ½ Zoll hoch mit Erde bedeckt, um die Mittagszeit eines klaren Sommertages bis auf 45 Grad steigt. Diese lange Einwirkung, abgesehen von der Höhe des Standes, also von der Senk-

rechtheit der Strahlen, ist es, welche in den nördlichsten Gegenden der Erde, in Lappland jenseits des Polarkreises, Gerste und Hafer und andere eine kurze Vegetationsperiode habende Feld- und Gartenfrüchte zeitigt. Dort geht um Johanni die Sonne gar nicht unter, an den diesem längsten, 3—400 Stunden langen Tage auf beiden Seiten benachbarten, neigt sich die Sonne kaum unter den Horizont, so erhebt sie sich auch schon — wie die Lappländer sagen — „ein paar Schritte weit davon", um wiederum beinahe 24 Stunden zu scheinen, unterzusinken und „einen Schritt weiter" unter dem Horizont bleibend, sich abermals auf 23 Stunden, auf 22 oder auf 20 Stunden zu erheben.

In dieser Zeit von etwa acht Wochen (nach welcher die Tage auch noch immer ziemlich lang, doch mit den unsrigen in einem mehr gleichen Verhältniß stehen) thaut der gefrorne Boden auf 3—4 Fuß Tiefe auf, wird beackert, besäet, in dieser Zeit nährt er das Gras, den Halm, in dieser Zeit reift die Sonne die Frucht, von der Aussaat bis zur Erndte in höchstens sechs Wochen, in dieser Zeit werden auch mancherlei Wurzelgewächse, in dieser Zeit werden Gurken, Kürbis, ja Melonen vollkommen reif und sie würde genügen, Aepfel, Birnen, Pfirsiche zu reifen, wenn der Baum die Winterkälte ertrüge. In den Gärten reicher Leute, welche das Stämmchen mit einem kleinen Gebäude umgeben, das ganz mit Laub ausgefüllt ist, reifen auch diese Baumfrüchte.

Wirkung der Farben auf die Strahlung.

Von großer Wichtigkeit für die durch die Sonne empfangene Wirkung ist die Farbe der Substanz, auf welche die Sonne fällt. Zuerst hat Franklin darauf aufmerksam gemacht, ihm ist gefolgt mit unzähligen, sehr genau und durch geistreiche Schlüsse wichtig gewordenen Versuchen Obrist Thomson. Dieser Mann, der Wohlthäter des schrecklich heruntergekommenen Baiernlandes, indem er die Bettelei aufhob und die Armen in Fabriken unterbrachte, dadurch zuerst einige Industrie erweckte, die er auch zu einer wirklichen Blüthe erhob; indem er ferner den Unbemittelten eine wohlfeile und doch schmackhafte und nahrhafte Speise, gute Bedeckung u. s. w. verschaffte, hatte eine außerordentliche Neigung für die auf das practische Leben angewendete Physik, versuchte alles Mögliche durch einander und ließ damit auch nicht nach, als der Herzog Carl Theodor ihn zum Grafen Rumford (nach der Insel, auf welcher Thomson geboren) ernannte und ihn zum Comthur des Hubertus, des höchsten Ordens, den Baiern besitzt, erhob.

Derselbe zeigte unter vielen Versuchen auch den, daß Tuch, von verschiedener Farbe auf Schnee gelegt, nach Maßgabe der Dunkelheit der Farbe einschmelze. Nicht ob das Stück grün oder roth sei, mache den Unterschied, sondern ob in einer ganzen langen Schattirung von lauter Roth oder lauter Blau, Grün ꝛc. eines dunkler sei als das andere, bedingt den Unterschied, je dunkler das Tuch ist, desto tiefer liegt es in den Schnee eingeschmolzen.

Thomson oder Graf Rumford wies nun überall in der Natur die Anwendung dieser Thatsache nach. Er zeigte, daß eben so dunkle Körper leichter die Wärme durch Ausstrahlung verlieren als helle und daß daher die Thiere meistens eine weiße Bedeckung hätten, wo die Gefahr des Erkältens am größten, also am Bauch; er zeigte, wie die Thiere des Nordens alle während des Sommers ein braunes oder graues Kleid hätten, welches sich aber erstens unter dem Bauche immer weiß erhalte, zweitens über den ganzen Körper weiß werde, sobald der Winter sich nähere; er zeigte, wie die Ausstrahlung durch Rauhigkeit vermehrt, durch Glätte vermindert werde, wie ein lockeres Kleid wärmer halte als ein dicht anschließendes, daher ist das Winterkleid der Thiere sehr rauh und von einem feinen krausen Haar gebildet, indeß gröberes diese weiche Decke durchdringt und sich glatt über den Körper verbreitet, auch selbst so blank und glänzend ist, daß es nur sehr wenig Wärme durch Strahlung verliert. Er zeigte, wie der Mensch diese Winke benutzen und für sich ausbeuten könne. Er lehrte Wein und Pfirsichbäume an schwarz angestrichene Mauern pflanzen, welche die Tageswärme viel besser aufnehmen als weiße, dagegen während der Nacht das Empfangene wieder ausgeben und so die zarten Pflanzen vor einem zu starken Temperaturwechsel bewahrten.

So streuen in den hoch gelegenen Alpenthälern die Bauern Asche oder schwarze Erde auf den Schnee, damit dieser leichter schmelze als bei seinem weißen, die Strahlen zurückwerfenden Glanze geschehen würde und sie erhalten den Acker 14 Tage und mehr als dies früher zur Bestellung abgetrocknet und durchwärmt; so legt in entgegengesetzter Absicht der geschickte Gärtner in Gegenden, welche einen heißen Sommer, aber ein ungewisses Frühjahr mit späten Nachtfrösten haben, wie in den östlichsten Provinzen von Preußen oder wie in Kurland und Liefland, Dünger um die Wurzeln der Bäume, wenn der März kommt, damit die Erde nicht aufthaue und die Bäume nicht in Trieb kommen, welcher mitunter noch im Mai zerstört wird; erst viel später, wenn sie nicht mehr fürchten dürfen, die Blüthe ersterben zu sehen, also so daß dieselben erst im Juni erscheinen, räumt man die Decke weg, welche das Eindringen der Sonnenstrahlen hindert und um treibt die immer steigende Wärme, verbunden mit langer Dauer, lange

Tage, sehr kurze Nächte), die Bäume rasch in's Wachsthum, ohne daß mehr irgend ein Schaden entsteht. So macht man die Oberfläche von Körpern, welche warm werden sollen, rauh und sogar schwarz, wie Thermometer, welche die Einwirkung der Sonnenstrahlen in ihrer vollen Kraft aufnehmen sollen, dagegen man solche, die möglichst kühl bleiben sollen, hell von Farbe und wo möglich glänzend macht. Unsere Kleidung ist die unzweckmäßigste in dieser Hinsicht, die es giebt, wir tragen schwarze Kleider, für den Winter so wenig tauglich wie für den Sommer; denn im Winter, wo es darauf ankommt, Wärme zusammenzuhalten, geben schwarze Stoffe viel mehr aus als hellfarbige. Könnte man aber auch für den Winter dies ausgleichen durch Verstärkung der Kleidung, so fällt doch für den Sommer eine solche Ausgleichung (etwa durch Verminderung) fort, denn je dünner die Kleidung ist, desto leichter brennt die Sonne hindurch und ein schwarzer Rock wird auf dem Körper des ihn tragenden Mannes so heiß, daß die Hand es deutlich fühlt, obschon das Tuch ein schlechter Wärmeleiter ist und nicht so schnell abgiebt.

Die Araber, die Beduinen, die Indianer sind gescheuter, sie tragen weiße Mäntel und weite Kleidung. Die weiße Farbe dient, um einen großen Theil der Sonnenstrahlen zurückzuwerfen, die Weite der Kleidung hindert, daß die Sonnenstrahlen den Körper in ihrer vollen Kraft erreichen.

Luftwechsel.

Wir begehen in Hinsicht auf diese mächtigste Wärmequelle, die Sonne, noch mancherlei Inconsequenzen. Wenn wir eine Wohnung haben, auf welche die wohlthätige Sonne trifft, eine Wohnung, welche gerade dadurch sehr vortheilhaft auf die Gesundheit ihrer Insassen wirkt, so verhängen wir die Fenster (die man mit ängstlicher Gewissenhaftigkeit schließt) mit grünen Vorhängen und sagt doch: mein Himmel, wie schwül ist es hier. Der Verfasser hat eben so gern helle Zimmer als frische Luft und Leute, die zu ihm kommen, sagen überrascht: „wie angenehm ist es hier, gerade die rechte Temperatur, nicht zu warm und nicht zu kalt; wie machen Sie es nur, daß Sie bei den offenen Fenstern nicht verbrennen? Sie haben wohl eben die Markisen heraufgezogen?

Nicht doch, die Fenster bleiben immer offen, die Sonne dringt ungehindert hinein und wenn man den kleinen Platz, den sie in der Nähe der Fenster bescheint, in Abzug bringt, so sitzt man überall in solchem Zimmer in einer Temperatur, wie sie der Tag an einem schattigen Platze bietet. Wer im Sonnenschein die Fenster schließt, erhält im Innern des Zimmers

Treibhaustemperatur. Die Sonne dringt fast ungehindert durch das dünne Glas, die Wärme aber, die sie hinter demselben erzeugt, wird aufgesammelt und je länger es dauert, desto mehr häuft sich durch stets neu hinzukommende die vorhandene Wärme. Wer die verschlossenen Fenster mit dunklen Rouleaux verhängt, gewinnt sehr wenig, denn zuvörderst wird der Vorhang erhitzt, dann aber erhitzt dieser die Luft und man hat zu der unangenehmen Schwüle noch das Dumpfe, was mit Verschließen der Fenster und Verdunkeln der Räume immer verbunden, auch wenn die Wärmequelle eine andere ist.

Wer jedoch den Sonnenstrahlen ungehindert Zutritt gönnt, hat nächst dem, daß seine Wohnung trocken wird und die Zimmerluft so beschaffen ist wie die der nächsten Umgebung im Freien, nicht mehr Wärme zu ertragen als derjenige, der seine Fenster schließt, aber er hat über diesen den großen Vortheil, daß die durch den Sonnenschein erregte Wärme zu den breiten Oeffnungen sofort wieder hinaus kann, entweicht, er hat den Vortheil einer freien Circulation der Luft und er hat Licht, wird in seinen häuslichen Verrichtungen nicht gestört. Alle diejenigen, welche Lust haben, diesen guten Rath zu befolgen, werden sich dabei sehr wohl befinden. Der Sonne wegen auf die Mitternachtseite ziehen, ist ganz thöricht, die Wohnungen auf derselben sind ungesund, weil sie niemals ganz trocken werden, sie haben Kellerluft, welche gerade im Sommer am allernachtheiligsten wirkt.

Hohe Temperatur im Sonnenschein.

Die wärmeerzeugende Kraft der Sonne ist so groß, daß, wenn man verhindert, daß die erwärmte Luft entweiche, die Temperatur ohne Brennglas bis zum Siedepunkt des Wassers gehen kann. Sauſſure hat einen hölzernen Kasten, welcher nach unten hin immer schmaler wurde und innen geschwärzt war, mit sieben von unten auf immer größer werdenden Glasscheiben bedeckt und diese so wohl eingepaßt, daß sie Luftwechsel gar nicht gestatteten, der gespannten, durch die Erhitzung stärker drückenden Luft aber doch durch die Poren des Holzes ein Ausgang gestattet war. In den innersten und untersten Raum dieses Kastens stellte er ein Gefäß mit Wasser und ein Thermometer darin und er nahm sehr verschiedene Male und in sehr verschiedenen Höhen wahr, daß das Thermometer auf 76 bis 78 Grad stieg.

Der bloße Erdboden erreicht bei uns im Sommer eine Hitze von 45 Grad ohne alle künstliche Mittel, daher ist es möglich, daß Wiesen ausbrennen (wie man sich sehr ungeschickt ausdrückt, denn sie verbrennen doch wirklich nicht, die Grasnarbe verdorrt bloß), wenn man sie kurz vor Eintritt

der heißen Jahreszeit mäht. So lange das Gras den Boden beschattet, geschieht dies natürlich nicht, ist es jedoch gehauen und entfernt, kommt alsdann nicht bald Regen, so wirkt der Sonnenbrand so nachtheilig auf die Wurzeln und die Keime, daß jedes Hälmchen vertrocknet, zerreiblich wird und zerfällt. In den heißen Ländern verbrennt man sich die Fußsohlen, wenn man etwa mit bloßen Füßen auf dem von der Sonne durchwärmten Sande gehen will; es ist daher gar kein Wunder, daß die Schildkröten und Krokodile, die Schlangen und Eidechsen ꝛc. ihre Eier im Sande ausbrüten, es ist hinreichende Wärme vorhanden.

Wie wenig dazu gehört, die Wärme, welche uns durch die Sonne zugeschickt wird, bis zum Unerträglichen, ja bis zur Vernichtung des Pflanzenlebens zu erhöhen, weiß ein jeder aufmerksame Gärtner. In den meistentheils nicht gar zu gut versehenen Treibhäusern und Mistbeeten, in denen so viele Spalten und Oeffnungen sind, daß man glauben sollte, sie könnten nicht eben viel Wärme zusammenhalten, entsteht doch beim Geschlossenhalten der Fenster eine so hohe Temperatur, daß trotz der ungeheuren Masse der eingeschlossenen Dämpfe die Pflanzen welken, die Gipfel hängen und sie sterben würden, wenn man solche Temperaturerhöhung nicht verhindern würde, unter jedem Treibhaus- oder Frühbeetfenster steht eine zackig ausgeschnittene Latte, welche gestattet, dieses Fenster mehr oder minder zu öffnen. Um Mittag stellt man (an einem sonnigen Juni oder Julitage) sie so, daß beinahe eine Elle zwischen ihrer geschlossenen und ihrer gegenwärtigen Lage ist, daß rückwärts hin die freie Luft vollkommen eindringe, vor- und nachher wird die Höhe der Oeffnung mehr und mehr vermindert, am frühen Morgen und am späten Abend schließt man sie ganz. Würde man vom Morgen bis Abend einen solchen Kasten geschlossen lassen, so würde man am Abend die Pflanzen in einem Zustande finden, als ob sie gekocht wären.

Brennspiegel.

Concentrirt man durch irgend eine Verrichtung die Sonnenstrahlen, so kann man durch dieselben die größten Hitzegrade erzielen, welche nur überhaupt zu erreichen sind, das Knallgasgebläse und das elektrische Feuer gar nicht ausgenommen, denn man ist im Stande, die Wirkung des Sonnenbildes so viel Mal zu verstärken, als dasselbe in der Focalweite verkleinert erscheint. Hat man z. B. einen Brennspiegel von 3 Fuß Durchmesser und sein Reflex giebt ein Bild von der Sonne, welches 2 Zoll Durchmesser hat, so wird sich diese kleine Fläche zu der großen verhalten wie 1 zu 324, also ist die Größe des Raumes, den die Sonne im Spiegel bescheint,

reducirt auf $^1/_{324}$ oder die Sonnenstrahlen sind hier 324mal über einander gelegt. Nimmt man nun die frei auffallenden Sonnenstrahlen im Sommermittag zu 30 Grad an, so wird man in diesem Brennraum eine Hitze von — 9720 Grad haben. Ist der Focus kleiner, was man dadurch erzielt, daß man die Focaldistanz verringert, so ist natürlich die Wirkung um so viel größer; wenn bei einem Spiegel, wie der gedachte, der Focus nur 1 Zoll im Durchmesser hätte, so würde die Verstärkung gleich sein einer 1296maligen Vervielfältigung der Einheit des Sonnenlichtes und ist dieses, wie oben, 30 Grad angeschlagen, so ist die im Focus erzielte Temperatur gleich 38,880 Grad — eine Hitze, der wohl schwerlich irgend etwas auf Erden widerstehen dürfte.

Es ist nun allerdings nicht zu vergessen, daß man so nicht rechnen kann, indem die Unvollkommenheit des Spiegels (die mangelhafte Politur, die nicht richtige Form, welche die Vereinigung aller Strahlen auf einen gewissen Raum unmöglich macht, die daraus hervorgehende Vertheilung der Sonnenbilder in verschiedenen Schichten, die sich weder decken, noch alle in eine Ebene fallen) als sehr störend auftreten, aber wiederum steht dies fest, daß gerade durch die Häufung der Sonnenstrahlen von vielen reflectirenden Flächen auf einen und denselben Punkt das Gedachte geschieht: also wenn auch nicht die Zahl der Grade, doch gewiß die Art der Steigerung der Wärme diejenige ist, welche hier beschrieben worden.

Wir können uns sehr leicht davon überzeugen. Dasjenige, womit ein Jeder von uns seine optischen Studien begonnen, das Zurückwerfen der Sonnenstrahlen durch einen Spiegel auf des Nachbarn Haus oder in dessen Fenster kann zu einem ganz wissenschaftlichen Versuch werden, obschon die Mittel, die man dazu anwendet, nur sehr untergeordnet sind. Läßt man das Sonnenbild durch einen Spiegel auf die Oberfläche der Hand fallen, so wird man eine bemerkbare Erwärmung empfinden. Läßt man einen zweiten Spiegel dasselbe Bild so reflectiren, daß es mit jenem ersten auf dieselbe Stelle der Hand fällt, so wird man eine bedeutende Verstärkung der Erwärmung empfinden, ein drittes und viertes Bild dahin geworfen, wird man kaum mehr ertragen, und wenn der Gehülfe bei dem Experimente den fünften Spiegel anwendet, so zieht man sicher die Hand weg. Mit einem geschwärzten Thermometer statt der Hand kann man den Versuch weiter treiben, am schönsten ist aber derselbe durch den Grafen Büffon ausgeführt worden.

Archimedes' Brennspiegel.

Es ist eine bekannte Sage, daß Archimedes bei der Belagerung von Syracus die Schiffe des Marcellus durch Brennspiegel in Brand gesteckt habe. Allerdings schweigen die besseren Historiker darüber, Polybius, Livius, Plutarch erzählen nichts davon, was die Sache verdächtig macht. Erst im 12. Jahrhundert tauchte durch Zonarus und Tzetzes die Sage auf, welche sich auf Diodor, Dio Cassius, Hero, Philo ꝛc. berufen, durchweg aber auf Bücher dieser alten Klassiker, welche verloren sind. Dem Pater Kircher, einem bekannten Forscher des 17. Jahrhunderts, gab dies Veranlassung, die Möglichkeit der Angaben durch Versuche zu prüfen; vielleicht kannte dieser sehr gelehrte Mönch die Schrift des Tzetzes, welche zu glauben geneigt macht, Archimedes habe mit mehreren vereinigten Planspiegeln sein Wunder bewirkt oder er kannte das Werk des Vitellio über Optik, in welchem angeführt wird, man könne mit 24 vereinigten Planspiegeln Holz anzünden, was auch Anthemius, der berühmte Erbauer der Sophienkirche in Byzanz unter Justinianus, ganz deutlich ausspricht, kurz er (Kircher) nahm sich vor, die Möglichkeit solcher Versuche zu prüfen. Er verband zu diesem Zweck fünf Planspiegel, so daß sie ihre Strahlen auf einen 100 Fuß entfernten Ort warfen, brachte eine sehr große Hitze dadurch hervor und glaubte bei seiner Anwesenheit in Syracus mit dem Pater Schott schließen zu dürfen, daß es dem Archimedes sehr wohl möglich gewesen, die römische Flotte anzuzünden.

Den Versuch des Grafen Büffon betreffend, so ist er wohl der glänzendste und entscheidendste für die Möglichkeit des Archimedischen. Der Graf, von selbst auf den Gedanken gekommen oder durch Kircher's Angaben geleitet, verband zu gemeinschaftlicher Wirkung 168 Planspiegel von 8 Zoll Breite und 6 Zoll Höhe auf einem großen Gestell, so daß er jeden einzelnen nach Belieben bewegen konnte. Er stellte nun diese Spiegel so ein, daß sie alle zusammen ihre Sonnenbilder auf einen Punkt warfen, den er begreiflicher Weise beliebig entfernt halten konnte und dann machte er mit mehr oder minder großen Mengen von diesen Spiegeln Experimente über die Zündkraft.

Mit 40 solchen Spiegeln zündete er auf 66 Fuß Entfernung ein büchenes Brett an; mit 128 Spiegeln gelang dies auf die Entfernung von 150 Fuß beinahe augenblicklich; mit allen Spiegeln zusammen schmolz er auf 200 Fuß Entfernung alle Metalle. Hieraus ergiebt sich unzweifelhaft die Möglichkeit, auch auf größere Entfernungen als 200 Fuß Holz anzu-

zünden und die einzige Einwendung, welche man dagegen macht (namentlich der bekannte würdige Gehler) ist leicht beseitigt, nämlich daß die Römer dem Archimedes schwerlich Zeit gelassen haben würden, seine Veranstaltungen mit Muße zu treffen und daß sie ihre Schiffe zurückgezogen haben würden, sobald sie Erhitzung, Rauch und dergleichen bemerkt hätten. Wahrscheinlich wird Archimedes seine Spiegel nicht vor den Augen der Feinde vereinigt, sondern er wird sie vorher an einem andern Orte so gestellt haben, daß sie auf 200 oder 400 Palmen Entfernung zündeten, nun erst das ganze System von Spiegeln gleichzeitig an den Hafen (vielleicht auf irgend einen Theil der Mauer, einen Thurm) gebracht und dann auf irgend eines der Schiffe gerichtet haben, welches ihm ungefähr die richtige Entfernung gehabt (eine Schätzung, die man einem so großen Mathematiker wohl zutrauen durfte), wo denn augenblicklich die Zündung erfolgte. Aber gesetzt, er habe Alles vor den Augen der Feinde gemacht, so wußten diese ja gar nicht, was er beabsichtigte, und wenn er nur die natürliche Vorsicht übte, nie mehr als zwei Bilder auf einander zu werfen, so konnte auch Niemand bemerken, was er that. Der Spiegel leuchtet nur demjenigen, auf dessen Auge der Wiederschein trifft; fällt der Schein unter seine Füße, auf die Außenseite des Schiffes, so hat er keine Ahnung davon.

Wenn nun, sobald das zweite Spiegelbild ganz auf das erste gefallen, der erste Spiegel zugedeckt, dann das Bild des dritten Spiegels auf das des zweiten geworfen, hierauf der zweite Spiegel zugedeckt und nun das Bild des vierten auf das des dritten geworfen wird, so kann Niemand die Veranstaltung und die Absicht derselben ahnen, wenn er nicht durch Kenntniß der Physik von den Wirkungen unterrichtet ist, und wenn nun, nachdem alle Spiegel so gerichtet waren, plötzlich alle Verhüllungen derselben fortgezogen wurden, so mußte wohl das getheerte Holz der Schiffe in Brand gerathen.

Klima.

Ob es aber geschehen oder nicht, ist für das hier Vorliegende ganz gleichgültig, es ist von der Sonne, als der Hauptquelle der Wärme, die Rede und davon, daß man die Strahlen derselben zurückwerfen und so häufen könne, daß sie brennbare Substanzen zünden, Metalle schmelzen ꝛc. und dies ist allerdings möglich, denn es ist durch Versuche nachgewiesen.

Die Einwirkung der Sonnenstrahlen bedingt auf der ganzen Erdoberfläche dasjenige, was wir Klima nennen. Da die Klima's nun höchst verschieden sind, so sehen wir, wie sehr verschieden die Wirkung derselben Sonne auf denselben Körper sein müsse, und da die Temperatur und das Klima

irgend eines Ortes abhängig ist von seiner geographischen Lage und seiner Höhe über dem Meeresspiegel, so haben wir hierin den Schlüssel zu allen Veränderungen.

Die Erde ist im Vergleich mit der Sonne überaus klein; sie ist zwar von dichterer Masse als die Sonne und ihr Gewichtsverhältniß ist daher ein für sie günstigeres als ihr Größenverhältniß, denn sie hat $^1/_{350000}$ von der Masse der Sonne und weniger als $^1/_{1000000}$ von deren räumlichen Inhalt. Allein dieser Milliontheil des Sonnenkörpers hat doch eine Ausdehnung, eine Gestalt und die Strahlen der Sonne fallen auf diesen Körper seiner Gestalt wegen in demselben Augenblick sehr verschieden auf. Wenn die Sonne am 21. März oder 21. September im Mittag steht, so fällt sie den Bewohnern des Erdäquators senkrecht auf den Scheitel und sie haben dann den Schatten so vollständig unter ihren Füßen, daß sie kaum etwas davon sehen, und man könnte glauben, sie hätten wie Peter Schlemihl ihren Schatten verkauft.

Zu derselben Zeit und Stunde hat ein Bewohner des 45. Grades, also etwa des nördlichen Italien oder des südlichen Frankreich einen Schatten, der genau so lang wie er selbst ist. Ein Mann von 6 Fuß Höhe hat einen 6 Fuß langen Schatten, der eines Kindes von 3 Fuß Höhe mißt 3 Fuß.

Zu derselben Zeit hat ein Bewohner des Nordpols oder des Südpols einen unendlich langen Schatten, einen solchen, der auf der Erde nicht ausläuft, sondern in den Luftraum fällt und wirklich, d. h. im eigentlichsten Sinne des Wortes unendlich wäre, wenn die Sonne ein leuchtender Punkt wäre, da sie aber Ausdehnung hat, so verjüngt sich der Schatten eben so wie der unserer Erde, welcher ein Kegel ist, dessen Spitze zwischen 80- und 90,000 Meilen von der Erde liegt, indeß die Erde selbst die Basis dieses Kegels bildet.

Aus diesen Schattenverhältnissen geht der Stand der Sonne hervor; dieselbe muß im ersten Falle senkrecht über dem Haupte des Beobachters stehen, der Bewohner des 45. Grades sieht dieselbe so (d. h. um Mittag), daß sie sowohl mit seiner Körperrichtung als mit der Richtung der Ebene, auf welcher er steht, einen Winkel von 45 Graden macht, der Bewohner des Poles sieht die Sonne im Horizont, und diese respectiven Stellungen der Sonne sind es, welche das Klima bedingen. Allerdings haben Nähe des Meeres, weitläuftige Bewaldungen, Bodenerhebungen ꝛc. auch noch ihren Antheil daran, allein wenn man auf demselben Meridian von Norden nach Süden wandelt, so hat man mit der höher steigenden Sonne auch

immer höhere Grade der Wärme und Alles, was mit dieſer im Zuſammenhang ſteht, hierher gehört vorzugsweiſe das Thier- und das Pflanzenleben.

Pflanzenwuchs.

Je höher die Sonne ſteht, deſto üppiger entwickelt ſich (vorausgeſetzt, daß eine zweite unerläßliche Bedingung des Pflanzenlebens, die Feuchtigkeit, nicht fehlt) der Pflanzenwuchs. Daß die Sahara ganz von aller Vegetation entblößt iſt, rührt lediglich daher, daß ſie kein Waſſer hat. Die Sonnenſtrahlen fallen brennend auf einen höchſt empfänglichen Felſen- und Sandboden. Die darüber ſtehende Luftſchicht wird erwärmt, ausgedehnt und ſteigt als leichter empor, an allen Seiten ſtrömt Luft in den leer gewordenen Raum ein, wird jedoch gleichfalls erwärmt in den allgemeinen Strom fortgeriſſen und was noch an Feuchtigkeit mit dieſer zuſtrömenden Luft herbeikommt, iſt alsbald viel weniger fähig niedergeſchlagen zu werden als vorher, da es durch Erhöhung der Temperatur an Auflöslichkeit zunimmt.

Auf dieſe Weiſe wird, wenn ja der Boden noch einige Feuchtigkeit hätte, dieſelbe durch den aufſteigenden Strom entführt und ein Feuchtigkeitsmeſſer zeigt in der Luft der Sahara auf Null; daher wachſen dort nur an den etwas vertieften Stellen dürftige, bittere und ſalzige Kräuter, ausgenommen die Oaſen, langgeſtreckte Thäler, eingeſenkt in die Ebene der Wüſte, ehemalige Flußbetten, in denen entweder wirklich noch Waſſer fließt, oder die wenigſtens einen hinlänglich feuchten Untergrund haben, um einige Dattelpalmen und ein Paar andere tropiſche Pflanzen zu nähren.

Wo jedoch Feuchtigkeit nicht fehlt, erweckt die durch die Sonne erregte Wärme einen Pflanzenwuchs, der in das höchſte Staunen ſetzt; da wachſen 300 Fuß hohe Araucarien, dort wachſen die prächtigen Wachspalmen (Ceroxylon andicola), welche Humboldt höher als den Straßburger Münſter fand, dort wachſen Gräſer von 40—110 Fuß (die Rohrgattungen), dort die Schlingpflanzen von 200 und mehr Fuß, dort die kletternden Palmen, welche 600 Fuß lang werden, dort die prächtigſten Blumen, von der Victoria regia mit 1 Fuß Durchmeſſer bis zu der Riffleſia von 3 Fuß Durchmeſſer (alſo von 10 Fuß Umfang).

Wenn aber nun die Wärme abnimmt, ſo ſehen wir auch den Pflanzenwuchs ſich vermindern: ſchon in unſern mittlern Breiten ſind Bäume von 100 Fuß Höhe Seltenheiten, die Gräſer werden kaum noch 15 Fuß hoch und zwar allein das Schilfrohr; die mehltragenden Gräſer, welche vorzugsweiſe hier, nicht in der heißen Zone zu Hauſe ſind, haben 5—6 Fuß Höhe, die Wieſengräſer 3—4 Fuß.

Je weiter man nach Norden schreitet, desto kleiner wird der Pflanzenwuchs; in dem fernen Norwegen wachsen zwar noch stolze Tannen, allein es kommt eine Gegend, welche von Bäumen nur noch der Zwergbirke und der Krummföhre Nahrung giebt, aus den blühenden Pflanzen werden blüthenlose oder solche mit mikroskopischen Blüthen, die Moose, zuletzt die Flechten, und endlich kommt auf Grönland, auf Spitzbergen, auf Labrador eine Gegend, wo gar nichts mehr wächst, obschon des Wassers genug vorhanden ist. Die Wärme erregende Kraft der Sonne fehlt. Auf Island giebt es noch an manchen Punkten eine schöne Vegetation, in unsern Gegenden ist diese am schönsten in der Nähe der Quellen, nicht so in Island, dort flieht die Vegetation die Quellen; diese sind entweder kochend heiß, dann ist begreiflich von Vegetation keine Rede, oder sie entspringen dem beschneiten Gebirge, dann sind sie eiskalt oder doch höchstens 1 Grad warm und was demnach die Sonne noch wärmend erwirkt, das vernichtet die Kälte des Wassers.

Eben so wie die Wärme von dem Aequator nach beiden Polen hin abnimmt, eben so nimmt sie ab von der im Allgemeinen überall gleich hochstehenden Fläche des Meeres nach den Gipfeln der Berge zu. Munke sagt in seiner Wärmelehre, dies betrage in mittlern Breiten für 700 Fuß 1 Grad; es ist schwer zu begreifen, wie ein solcher Gelehrter dies sagen konnte. Mailand hat eine mittlere Temperatur von 13 ½ Grad, demnach müßte das Hospiz auf dem St. Gotthardt, welches 6000 Fuß hoch liegt, eine mittlere Temperatur von 5 ½ Grad haben, oder, da es thatsächlich eine mittlere von — ¼ Grad hat, müßte es nicht 6000, sondern 9700 Fuß hoch liegen.

Solche Bestimmungen sind durchaus unzulässig, man kann nur im Allgemeinen sagen, die Temperatur nimmt mit der Höhe ab, jedoch höchst verschieden, nicht nach der Jahreszeit, was sich von selbst versteht, sondern nach der geographischen Breite, nach der östlichen oder westlichen Lage, nach der Nähe der Meere, nach der Tagesstunde u. s. f.

Temperaturvertheilung.

Von welcher unglaublichen Bedeutung diese sei, möge ein Beispiel Zeugniß ablegen. Der mexicanische Meerbusen, ein gewaltiger Siedekessel, in welchem das Meerwasser die Temperatur von 31 Grad C. annimmt, entsendet (indem er an der nördlichen Küste von Südamerika ungeheuere Wassermassen des allgemeinen großen Meeresstromes empfängt, welche ihn überfüllen müßten, wenn sich nicht ein entsprechender Ausflußkanal auf der

andern Seite vorfände) zwiſchen Florida und Cuba den 10 Meilen breiten Golfſtrom, welcher ſich Anfangs längſt der Küſte nördlich von Nordamerika hinauf zieht, dann ſich öſtlich wendet, immer breiter wird, natürlich auch an Temperatur immer mehr abnimmt, doch mit einer Wärme von 8 bis 10 Grad noch auf die Küſten des weſtlichen Europa's trifft, die er bald zwiſchen höherer, bald zwiſchen niederer Parallele erreicht und auf deren Küſten er ſeine höhere Temperatur abſetzt. Daher kommt es, daß in Irland die Myrthen- und Lorbeerbäume ſo üppig wachſen wie in Sardinien; daher kommt es, daß eben daſelbſt die prächtige Camellia und die anmuthige Fuchſia gleich der Georgine ganz ſchutzlos, d. h. des Schutzes gar nicht bedürftig, aushalten; daher kommt es, daß während öſtlich von Dänemark zur Winterszeit die Schifffahrt gänzlich ſtockt, die Küſte von England und Irland, von dem viel weiter nördlich gelegenen Schottland, ja die von ganz Norwegen eisfrei bleiben. Von ganz Norwegen, nicht etwa von Chriſtiania bis Drontheim, ſondern eben ſo gut von Drontheim bis zum Nordcap; denn man kann in jedem Winter von der Nordſpitze der ſkandinaviſchen Halb-Inſel nach der Südſpitze von Spitzbergen fahren, ohne auf Eis zu ſtoßen. Zwiſchen dem 65. und 70. Breitengrade fand Obriſt Sabine das Meer 5½ Grad warm.

Daß dieſe Temperatur dem Waſſer des Golfſtromes zu danken ſei, geht daraus hervor, daß man Früchte eines tropiſchen Klima's an den Küſten von Irland, Schottland und Norwegen findet. Daß aber dieſer Golfſtrom wohl den Winter milder, nicht aber den Sommer wärmer mache, geht wiederum daraus hervor, daß dort, wo die Myrthen blühen und die Lorbeeren die Gärten der iriſchen Lords ſchmücken, kein Apfel zur Reife kommt, viel weniger ein Pfirſich oder eine Weintraube. Dieſe Wärme wird nur von der Sonne gegeben, daher iſt es auch ganz überflüſſig, ſogenannte mittlere Temperaturen aufzuſuchen, d. h. ſolche, in der die ſämmtlichen Wärmegrade des ganzen Jahres, auf einen Tag reducirt, ausgeglichen ſind. Man erhält dieſe, indem man die niedrigſte, die höchſte und zwei mittlere Temperaturen eines jeden Tages aufſchreibt und am Ende des Jahres alle dieſe Grade zu einer großen Summe addirt und dieſe dann durch die Zahl der Beobachtungen nämlich durch 4 mal 365 (durch 1460) dividirt. Allein dieſe Zahl giebt uns ein entſtelltes Bild und gar keinen Begriff von dem wirklich vorhandenem Klima — die mittlere Temperatur von Swinemünde an der Oſtſee iſt 9 Grad und die von Odeſſa, welches unter den 46. Grad, alſo um 7 volle Grade ſüdlicher als Swinemünde liegt, iſt auch 9 Grad. Wer nun die köſtlichen Früchte gegeſſen, welche dort reifen und üppigen wollte, eben ſo ſüße Trauben, ſaftreiche Pfirſiche und aromatiſche Feigen

müßten auch in Swinemünde reifen, würde doch sehr fehl gehen — woher kommt es denn, daß bei Swinemünde kaum ein paar saure Kirschen und mäßig schlechte Pflaumen gedeihen, es hat ja doch einen so außerordentlich milden Winter? er beträgt ja durchschnittlich nur ½ Grad unter Null; ja der kälteste Monat, der Januar, bringt durchschnittlich nicht mehr als 2 Grad, gewiß, dabei erfriert kein Wein und kein Apfelbaum, aber bei der Temperatur des heißesten Monats, 17 Grad, reift auch kein Apfel; in Odessa dagegen, woselbst der Winter — 3 Grad hat und woselbst die Kälte bis auf — 21 Grad steigt, erfriert, wenn er nur niedergelegt wird, der Wein auch nicht; bei einer mittleren Temperatur des Sommers aber von 23 Grad und einer Hitze von 30 Grad im heißesten Monat, reifen allerdings Weintrauben, Mandeln, Ananas, Apfelsinen und die köstlichsten Früchte, die es überhaupt giebt.

Extreme Temperaturen.

Es ist fast unbegreiflich, wie man so lange etwas so Verkehrtes hat treiben können als die Thermometer-Beobachtungen im Schatten. Noch von seinem würdigen Lehrer, dem Prof. Erman d. ä., hörte der Verfasser mit Andacht, daß es sehr schwer sei, eine Stelle zur Beobachtung der Wärme eines Ortes zu erhalten; die Sonne dürfe niemals auf das Thermometer scheinen, darum sei ein gewöhnlicher Standpunkt desselben nach Norden zu durchaus nicht genügend sicher, es erhält daselbst ja Morgens und Abends Sonnenstrahlen genug, um ein unrichtiges Resultat zu geben; der Raum müsse eingeschlossen sein, so daß die Häuser auf der Seite Morgen- und Abendsonne hinderten, das Thermometer zu treffen. Ein Haus, welches gegenüber liege, sei sehr nachtheilig, das Thermometer bekomme Reflex und werde durch Wiederschein erwärmt, was durchaus nicht sein dürfe; daher es unstatthaft, einen Platz für dasselbe zu wählen, wie ihn eine von Osten nach Westen verlaufende Straße auf ihrer Südseite (d. h. auf derjenigen, deren Fenster nach Norden schauen) biete, denn hier sei das nach Norden sehende Gemäuer den ganzen Tag von dem Wiederschein der Sonne getroffen.

Es kamen noch eine Menge Bedingungen heraus, welche schließlich dazu führten, daß eigentlich ein tiefer Keller das beste sei. Erman wohnte bis zum Jahre 1824 in einem Hofgebäude der Kriegsschule und hatte das seltene Glück, keine Sonnenstrahlen zu sehen; er war sehr ungehalten, als er diese Wohnung mit einer in einer der beiden Hauptfronten sehr prächtig gelegenen vertauschen mußte, denn er hatte daselbst keinen Platz für sein viele Jahre lang getreulich beobachtetes Thermometer.

Von dieser irrigen Auffassung rühren auch die viele Jahre in Gültigkeit gebliebenen Ansichten her, eine sogenannte kalte Quelle gäbe am sichersten die mittlere Temperatur. Wenn man diejenige Temperatur, in welcher sich alle Differenzen, nicht blos die Extreme, sondern auch die einzelnen leisen Schattirungen ausgeglichen haben, die mittlern nennt, so ist allerdings die Temperatur einer Quelle oder eines 40 Fuß tiefen Kellers das richtige Mittel.

So aber steht es nicht in der Natur. Die Sonne läßt für das von ihr beschienene Kornfeld, für den Apfelbaum, für den Kohlgarten nicht Mauern aufführen, sondern sie sendet ihre glühendsten Strahlen dem Kohl direct auf den Kopf, unbesorgt, ob er davon den Sonnenstich bekommen werde. Theilt ein Mensch recht künstlich einem Apfelbaum die Schattentemperaturen mit, hindert er die Sonne, ihm die Krone heiß zu machen, so wird er den Baum wohl grünen, vielleicht auch Blüthen ansetzen, aber gewiß keine Früchte ausbilden sehen.

Wie das vorhin angeführte Beispiel von Swinemünde und Odessa uns lehrt, so giebt die mittlere Temperatur eines Ortes, wenn sie auf diese Weise gewonnen wird, gar kein Bild von dem Klima und von der Fruchtbarkeit eines Landes; ja wir haben zwar schon einen großen Schritt zur Gewinnung eines richtigen Standpunktes weiter gethan, aber wir haben ihn keinesweges erreicht, denn, obschon die Aufzeichnung der extremen Temperaturen uns schon ganz andere Ansichten gab, als wir vorher von der Sache hatten, so ist das Rechte und Richtige noch immer nicht gewonnen, denn auch dieses ist eine mittlere Temperatur, entweder aus halbjährigen oder noch besser, aus vierteljährigen Beobachtungen des Thermometers im Schatten.

Sonnenwirkung im Freien.

Wollen wir das Richtige haben, so müssen wir uns fragen. wie stark wirkt die Sonne während des Tages im Freien? wie weit kühlt sich die Luft während der Nacht ab? was ist die mittlere Temperatur aus diesem sonnigen Thermometerstande während eines jeden Vierteljahres? Wir werden alsdann ganz andere Resultate noch bekommen als die jetzigen und werden erfahren, weshalb das Klima von Berlin und von Swinemünde, deren mittlere Temperatur ganz gleich und deren Lage hinsichtlich der Meereshöhe kaum 50 Fuß von einander abweicht, doch so verschieden ist, daß hier die herrlichsten Früchte auf das Vollkommenste ausreifen und daß man am Spalier Trauben und Pfirsiche zieht, wie man sie in dem 4 bis 6 Grad

südlicher gelegenen Würtemberg gar nicht zu sehen bekommt; daß hier so saftreiche Melonen erzeugt werden, wie nur im südlichen Ungarn, während in Swinemünde die Kartoffeln kaum reif werden. Die Tagestemperatur im Schatten beträgt 22 bis 24 Grad, Sonnenwärme giebt dem Boden in der Stadt eine Temperatur von 30 bis 35 Grad, ausnahmsweise von 45 Grad; in Swinemünde sind es 15, ausnahmsweise 18 Grad. Die Sommernächte bleiben hier in der Regel 15 bis 18 Grad warm, so daß man nicht friert, wenn man einem Gartenconcert bis 10 Uhr beiwohnt und nun die jetzige verzärtelte Jugend daran denkt, für die späten Abendstunden einen leichten Ueberwurf mitzunehmen, während in Swinemünde mit Sonnenuntergang eine so unangenehm niedrige Temperatur eintritt, daß jeder Badegast seine Wohnung aufsucht — gegen Morgen glaubt man wohl gar, es müsse gefroren haben, solchen unangenehmen Eindruck macht die schneidende Luft.

Aehnliche Verhältnisse treten in sehr südlich gelegenen Ländern aus anderen Ursachen ein. Wir wollen nicht von Schwaben sprechen, dem *sogenannten* Weinlande, wo doch auch kein Spaziergänger nach Sonnenuntergang mehr auf dem Wege zu finden ist, sondern von dem *wirklichen* Weinlande Italien, Frankreich, Spanien. Der Temperaturunterschied wird durch zwei wichtige Ursachen herbeigeführt und ist durch den Verein derselben sehr groß. Durch die *längere* Nacht und durch den außerordentlich klaren Himmel.

Je weiter man nach dem Aequator geht, desto mehr gleichen sich Tag und Nacht in ihrer Dauer aus. Ist bei uns der längste Tag 18, in Petersburg 22 Stunden, so ist er in Rom nur 14 und in Quito nur 12 Stunden lang; d. h., je weiter polwärts, desto länger weilt am längsten Tage die Sonne über dem Horizont, desto kürzer ist die Nacht, desto länger währt also die Mittheilung der Wärme, desto kürzer ist diejenige Periode, während welcher die Erde von der empfangenen Wärme verlieren kann. Der Vortheil ist also während des Sommers ganz auf Seite der Orte, die in höheren Breiten liegen. Die südlicheren bekommen zwar durch die Sonne, welche höher steigt als bei uns, in einer Stunde mehr Wärme, als bei uns in derselben Zeit, aber der Stunden sind nicht so viele wie bei uns, 14, ja nur 12 statt 18 bis 22.

Dagegen verlieren aber jene Gegenden durch die längeren Nächte viel mehr von ihrer höheren Temperatur, die Zeit ist ja mitunter noch einmal so lang — *Humboldt* hat im Freien schlafend, in seinen Mantel gehüllt und mit dem Ponjo bedeckt, erbärmlich gefroren, als er die tropischen Gegenden von Amerika besuchte — das sagen unsere braven Soldaten bei

ihren Herbstmanövern (September) in der Regel nicht, es müßte denn schon sehr unfreundlich, regnerisch sein, gewöhnlich sind 3 bis 4 Bivouacnächte mehr eine Lust als eine Strapaze, obwohl zu dieser Zeit die Nächte auch so lang sind wie die Tage. In Italien, in Spanien flieht Jeder das Freie so wie es dunkel wird, nur der zärtliche Liebhaber klimpert auf der Mandoline seiner Donna etwas vor und dabei hat er gewiß seinen zwölf Ellen weiten Mantel, den er sich drei Mal um die Schultern wickeln kann, bei sich.

Durchsichtigkeit der Atmosphäre.

Der zweite Grund, die Klarheit der Luft, ist von nicht anderer Bedeutung. Jeder Körper giebt von seiner Temperatur an jeden andern, der eine niedrigere Temperatur hat, etwas von seiner Wärme ab und zwar so lange, bis beide Körper gleiche Temperatur haben. Wenn man mitten in einem Zimmer, welches 15 Grad Wärme hat, eine Kugel mit kochendem Wasser aufhängt, so wird dieselbe so lange an die Luft und die umgebenden Wände von ihren 100 Grad abgeben, bis die Kugel und die Wände gleiche Temperatur haben. Wäre es möglich, die Wände des Zimmers 24 Stunden lang auf 100 Grad zu erhalten, so würde eine da hinein gebrachte Kugel mit siedendem Wasser nichts von ihrer Temperatur verlieren, sie würde die 24 Stunden hindurch 100 Grad behalten bis die Wände sich abkühlten und ihr nicht mehr so viel zurückgeben, als sie ausgiebt.

Die Erde ist in solchem Falle. Sie schwebt in einem freien, kalten Raume und giebt immerfort an denselben von ihrer Wärme ab, und zwar während des Tages durchaus nicht weniger als während der Nacht, allein wir empfinden dies während des Tages nicht, weil da die Sonne der Erde mehr giebt, als sie durch Ausstrahlung verliert. Anders ist es während der Nacht. Hier giebt die Erde an den Weltraum ab, ohne gleichzeitig zu empfangen, daher man die Temperaturabnahme wohl bemerkt.

Ist nun aber der Himmel klar, wie in den wärmern Ländern in der Regel, so geht diese Ausstrahlung ungehindert von statten; die Erde verliert rasch und viel von ihrer Wärme, daher die ungemeine Temperaturabnahme in Italien, Spanien, noch mehr in den Tropenländern während der Nacht, welche so weit geht, daß sich auf flachen Wassergefäßen Eis bildet; ein Umstand, welcher in Indien gewerbsmäßig ausgebeutet wird, indem es daselbst förmliche Eisfabriken giebt und sie oder die Abkühlung überhaupt, wenn sie auch nicht bis zur Eisbildung geht, wird durch die lange Dauer der Nächte unterstützt.

Anders ist es bei uns, in den Ländern der nördlichen gemäßigten

Zone. Ueberhaupt ist bei uns die Luft während der Sommermonate niemals so vollkommen klar als in den wärmeren Gegenden, denn oben erhalten wir während der Nacht meistens eine schützende Wolkendecke. Nun ist klar, daß wenn auch die Wolke an ihrer obersten Schicht Wärme gegen den dunklen Nachthimmel, gegen den Weltraum verliert, dies doch schon mit der nächsten Schicht, welche den Weltraum nicht mehr sieht, nicht der Fall sein kann. Viel weniger also mit der Erde, welche ja den Weltraum auch nicht sieht, und nicht etwa nur die oberste Schicht der Wolken, sondern die ganze Masse derselben als schützende Decke auf sich ruhen hat.

Gegen diese Wolken strahlt die Erde allerdings auch aus, an diese giebt sie von ihrer Wärme gerade so gut ab, wie sie an den klaren Nachthimmel abgeben würde, nur erstens nicht so viel, denn die Wolken haben selbst Temperatur und die Abgabe kann doch nur nach Maßgabe des Temperaturunterschiedes stattfinden — dagegen empfängt zweitens die Erde auch durch die Strahlung der Wolken gegen sie bedeutende Quantitäten Wärme zurück. Gegen den blauen Himmel ist die Wärmestrahlung der Erde ein vollständiger Verlust ihres Kapitals, der sie banquerutt machen würde, wenn die Nacht lange dauerte, wie wir an den Polen sehen, wo der halbjährige Tag nicht ersetzen kann, was die halbjährige Nacht an Verluste herbeiführt. Zwischen Erde und Wolke besteht die Wärmestrahlung gegenseitig, es ist also ein Austausch der Wärme der Erde gegen die Wärme der Wolken, wobei die Erde zwar im Nachtheil ist, weil sie weniger empfängt als sie giebt, welches Spiel sie jedoch viel länger aushalten kann als jenes gegen den dunkelblauen, klaren Nachthimmel, wo Verlust auf Verlust folgt und die Bank bald gesprengt werden würde.

Wie bedeutend die Rückstrahlung ist, weiß ein Jeder, der einmal eine mit Gas beleuchtete Stadt gesehen und den Reflex des Lichtes durch die Wolken, welche wie durch eine Feuersbrunst geröthet aussehen, beobachtet hat. Es ist dieser Widerschein so stark, daß man daran die Annäherung an Berlin während der Nacht auf eine dreimal so große Entfernung wahrnimmt als bei Tage durch seine Thürme, deren einige eine nicht unbedeutende Höhe haben, die in ihrer ganzen Majestät hervortreten können, da die Stadt, außer von einer Seite, ringsum von einer wagerechten Ebene begrenzt ist.

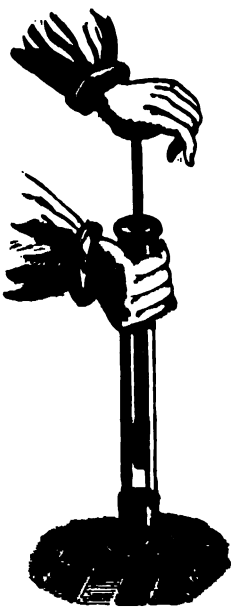
Dichtigkeit der Luft.

Kehren wir zu der Abnahme der Sonnenwärme mit vermehrter Höhe über dem Meeresspiegel zurück, so hat bis jetzt noch kein Gesetz gefunden werden können, nach welchem man voraus zu bestimmen vermöchte, welche

Temperatur viele oder jene Höhe haben wird. Die Sonne scheint und wirkt auf den höchsten Gipfeln der Anden nicht schwächer als in dem tiefsten Thal der Erde, am tiefen Meere 1400 Fuß unter dem Meeresspiegel. Sauſſure hat in den Alpen, Humboldt hat später auf den mexikanischen Gebirgen hierüber Versuche angestellt, welche das angedeutete Resultat und zwar gegen alle Vermuthung und gegen die früheren Annahmen, ergaben, denn man war gewohnt zu glauben, in hohen Regionen habe die Sonne eine viel geringere Kraft als in der Nähe der Erdoberfläche.

Nun hat sich allerdings ergeben, daß Compression luftförmiger wie fester Körper, dieselben erwärmt; denken wir an das Beispiel, welches wir bereits angeführt, an das Glühendhämmern eines Stückes Eisen, denken wir an das Compressionsfeuerzeug, bei welchem durch mäßige Zusammendrückung der Luft diese so stark erhitzt wird, daß sie Feuerschwamm entzündet, wie die Fig. 17 versinnlicht, in welcher man einen glatt ausgeschliffenen Cylinder von Glas sieht, wie derselbe gegen einen Widerstand leistenden Körper von der einen Hand gehalten wird, indeß die andere mit einem raschen Schlage einen Stempel luftdicht in die Höhlung hineintreibt; ein an dem untersten Ende des Stempels befindliches Stückchen Schwamm wird dadurch entzündet und zieht man ihn rasch genug heraus, so bleibt der Schwamm brennend. Die Thüringer Bauern bedienen sich dieses Apparats aus Messing gemacht, als ihres gewöhnlichen Feuerzeuges.

Fig. 17.



Es hat sich auch ergeben, daß Ausdehnung elastischer Flüssigkeiten Erkältung hervorbringt (man befördert dadurch die Verdunstung und kann unter der Glocke der Luftpumpe, mitten im warmen Zimmer, Wasser in Eis verwandeln), allein man hat doch die richtigen Folgerungen zu ziehen, nicht gewagt, bis Sauſſure mit der Behauptung auftrat, er sei überzeugt, daß, wenn man eine Säule von einer Meile Breite und Dicke aus der Atmosphäre herausschneiden und horizontal niederlegen könne, diese zu einen Obelisken zusammengedrückte, d. h. nach ihrem obern Ende zu immer dünner werdende Säule überall gleiche Temperatur zeigen würde oder mit andern Worten dasselbe gesagt: wenn man aus verschiedenen Höhen der Atmosphäre, wo an demselben heiteren Mittage das Thermometer 30, 20, 10, 0 Grad, —10, —20, —30 Grad zeigt, verschiedene Cubikfuße

der Luft, die das Thermometer umgiebt, aus der Luftmasse herausschneiden und so zusammendrücken würde, daß eben diese Luft auf eine solche Dichtigkeit käme, wie sie dieselbe am Meeresufer hat, man mit dieser Raumverringerung und Zusammendrückung auch die Thermometer in den einzelnen Luftmassen sämmtlich sich so weit erheben sehen würde, daß sie diejenige Temperatur zeigten, welche die ursprünglich unterste Schicht der Atmosphäre hat, 30 Grad.

Die Thatsache ist nicht zu läugnen und daß die Wärmecapacität, d. h. die Fähigkeit, sich mit zugetheilter Wärme zu beladen und sie auf diese Weise unfühlbar für das Thermometer zu machen; bei demselben Körper im verdichteten Zustande geringer sei als im ausgedehnten, dies ist eben so eine Thatsache. Aber auf Beides gestützt, können wir demnach keine Vorausbestimmungen über die Temperaturen in verschiedenen Höhen machen und müssen uns lediglich auf die Beobachtung verlassen und diese giebt uns für die Abnahme der Wärme durch senkrechtes Ansteigen sehr verschiedene Data. Humboldt fand in Mexico, daß die Wärme an der Meeresküste bis zur Höhe von 12,000 Fuß regelmäßig um 20 Grad abnehme, das beträgt 1 Grad auf 600 Fuß; er fand, daß die Temperatur der Aequatorialregion bis auf 10,000 Fuß um eben dasselbe abnahm, d. h. für 500 Fuß Ansteigung 1 Grad Verlust. Gay Lussac stieg in einem Luftballon bis zu der noch von keinem Menschen vor ihm und nach ihm erreichten Höhe von 22,000 Fuß auf und fand dabei in mittlerer Höhe eine Abnahme von 1 Grad auf 530 Fuß.

Clayton in Cincinnati (Nordamerika, Ohiostaat) hat eine zweimalige Luftreise unternommen und behauptet dabei 17,000 Fuß hoch gestiegen zu sein. Dies ist schon eine Lüge, denn mit Leuchtgas, welches kaum 2 Mal leichter ist als atmosphärische Luft, steigt man nicht bis in eine Region, in der die Luft selbst nur die Hälfte ihrer Dichtigkeit hat; aber daß die Temperatur Anfangs bei je 300, dann bei 450 Fuß, zuletzt aber erst bei 900 Fuß um 1 Grad an Temperatur verliere, ist eine von jenen gewissenlosen Aufschneidereien, in denen sich die Amerikaner ihren ungebildeten Landsleuten gegenüber sehr gefallen, und kann uns also keinen Anhaltepunkt geben, ist auch nur angeführt worden, um zu zeigen, wie man durch einen einfachen Schluß hinter die Windbeutelei kommen kann.

In der Schweiz machten Horner und Eschmann Untersuchungen über diesen Gegenstand, aus welchen sich ergab, daß die Abnahme der Temperatur um 1 Grad erfolge: um 5 Uhr Nachmittags bei 570, um 3 Uhr bei 582, um Mittag bei 650, um Mitternacht bei 660, um 3 Uhr Morgens bei 720 und um 6 Uhr Morgens bei 785 Fuß.

Einflüsse der Tageszeit.

Dies waren die ersten gründlichen Studien zu der Lehre von der Wärmeabnahme durch die Höhe. Es hat sich bis auf die neueste Zeit bestätigt, daß die Tagesstunden und der Temperaturzustand im Allgemeinen auf diese Temperaturabnahme von größtem Einfluß sind. Am Brocken und im Sommer, in welcher Jahreszeit er allein bestiegen wird, verliert man um 2 Uhr Mittags 1 Grad bei einer Erhebung um 350 Fuß, um 4 Uhr bei 380, um 6 Uhr bei 390, um 8 Uhr bei 474, um 10 Uhr bei 552 Fuß.

Im Verfolg dieser Untersuchungen hat man gefunden, daß man 1 Grad Temperatur verliert, um 12 Uhr Mittags bei 400, um 10 Uhr Vormittags bei 540, um 8 Uhr bei 834, um 6 Uhr Morgens aber erst bei einer Erhebung um 1074 Fuß, dergestalt also, daß man Nachmittags 2 Uhr oben eine 15 Grad niedrigere Temperatur hat als im Thale, dagegen dies um 6 Uhr Morgens nur 4½ Grad beträgt.

Die Temperaturverminderung bei größer werdender Erhebung über die Meeresfläche rührt also nicht von verminderter Kraft der Sonne her, sondern von einer besonderen Eigenschaft des Mediums, der Luft, durch welches die Sonnenstrahlen streichen. Die Luft ist in höheren Regionen viel durchsichtiger, nicht mit Dämpfen, Staub, Rauch, Ausdünstungen aller Art geschwängert, oder ist es doch viel weniger als in der Tiefe; sie ist demnach frei von allen diesen Substanzen, viel weniger fähig das Licht zu zersetzen, wodurch allein die ihr innewohnende Wärme thätig hervortreten kann. In der Nähe der Erdfläche und in der Höhe des Meeresspiegels oder nur um weniges höher, geschieht eine solche Zersetzung des Lichtes durch den Körper, den wir Luft nennen, in einem viel höheren Grade, daher ist auch in solcher Region die durchwärmbare Luft von einer viel höheren Temperatur. Wäre die Hülle der Erde nicht elastisch, wie es die Luft ist, und wäre diese Hülle überall gleich dicht, so würde ein Höhenunterschied von 18—20,000 Fuß gar keinen Temperaturunterschied mit sich führen, die Verdünnung allein ruft eine solche hervor.

Die Nacht aber trägt als Factor zu diesem Exempel, weil ihre Klarheit von der Durchsichtigkeit der Luft abhängig, ein Wesentliches bei, bestimmt, um wie viel die Temperatur der Luft durch die Ausstrahlung erniedrigt wird. Besonders in den mittäglichen Regionen bringt diese Ausstrahlung auffallende Erscheinungen hervor. Zur Ergänzung des bereits Gesagten, möge noch das Folgende hier Platz haben.

Zwischen den Wendekreisen ist, mit Ausnahme der Regenzeit, die Luft immer klar, es findet also eine mächtige Erwärmung durch die Sonne statt, die Temperatur des Tages ist beinahe das ganze Jahr hindurch 32, 30, wenigstens 28 Grad; aber dort, wo diese hohen mittlern Temperaturen herrschen (im Sonnenschein steigt die Temperatur auf 45 Grad) und die Regenzeit nur einen geringen Unterschied macht, wird die Nacht-Temperatur durch Ausstrahlung gegen den blauen Himmel so sehr herab gedrückt, daß sie nur 22 Grad beträgt. Ein Unterschied von 10 Grad zwischen Tag und Nacht kommt während des Sommers bei uns nur in ganz seltenen Ausnahmefällen vor.

In Carracas steigt die Schattentemperatur am Tage bis auf 24 Grad und sinkt in der Nacht bis auf 12 Grad. Man nimmt schon hier den Unterschied wahr, den die Erhebung auf die Durchsichtigkeit der Luft und auf die Temperaturabnahme ausübt (Carracas liegt mehr als 2000 Fuß über dem Meere) und dieser Unterschied stellt sich immer mehr heraus, je höher wir ansteigen. In Santa Fé de Bogota beträgt die Tages-Temperatur 18 Grad, die Temperatur der Nacht sinkt nicht selten auf 4 Grad herab und bedingt einen Unterschied von 14 Grad.

Quito, welches 9000 Fuß über dem Meere liegt, erduldet vollends einen Unterschied von 16 Grad, denn seine Temperatur beträgt gewöhnlich oder doch mehrentheils 22 Grad, wie es Palmen und Cactus, welche dort herrlich gedeihen, nicht anders verlangen; allein die Temperatur der Nacht sinkt bis auf 6 Grad herab, dies beträgt einen Unterschied von 16 Grad zwischen Tag und Nacht. Dafür hat der Himmel dort auch eine Bläue, welche das Cyanometer, der Luftbläuemesser, kaum mehr angiebt, wogegen das schönste Ultramarin hell erscheint, ein Blau, welches während der sternklaren Nacht zu einem vollständigen Schwarz wird.

Humboldt führt ein merkwürdiges Beispiel von dieser gewaltigen Ausstrahlung an. Das herrliche Plateau von Caxamarca, in Peru gelegen, 8784 Fuß über dem Meere, eben wie ein Spiegel, umgeben von einem Kranze hoher, aber noch ganz schneefreier Berge, hat eine mittlere Temperatur von 18 Grad, also viel mehr als der Nordrand von Afrika. Es trägt der Weizen das 28., die Gerste das 60. Korn, aber der Weizen erfriert nicht selten, denn während das Thermometer am Tage auf 25 bis 26 Grad steigt, sinkt es während der Nacht und bis Sonnenaufgang auf 8 Grad herab, das beträgt einen Unterschied von 17—18 Grad zwischen Tag und Nacht. Dies ist in den niederen Regionen etwas ganz Unerhörtes und hat seinen Grund lediglich in der Durchsichtigkeit der Luft.

Lage der Schneegrenze.

Wir sehen an diesem Beispiele, daß ein Aufsteigen in der Atmosphäre stets mit Abnahme der Temperatur verbunden ist; wenn wir demnach weiter steigen, so werden wir eine Region erreichen, in welcher die mittlere Temperatur nicht blos 0 Grad ist, sondern in welcher auch der Sommer so geringfügige Wärme mit sich bringt, daß er überhaupt den Schnee gar nicht mehr schmilzt. Eine solche Gegend findet sich in jedem Hochgebirge und die Region, in welcher sie anfängt, heißt die Schneegrenze. Es ist durchaus nicht diejenige, in welcher die mittlere Temperatur = 0 Grad ist, eine solche, ja eine noch viel niedrigere (— 5 bis — 10 Grad) kann noch einen so wirkungsreichen Sommer haben, daß er die Fesseln des ewig gefrornen Bodens bis auf die Tiefe von 3 Fuß löst, nicht blos den Schnee von der Oberfläche wegschmilzt und eine schöne Vegetation weckt, Garten und Feldfrüchte zur Reife bringt, sondern es ist diejenige Gegend, in welcher vielleicht der Winter nicht viel kälter als der Sommer ist, aber die Sonne so machtlos wird, daß sie ein Schmelzen des Schnee's nicht bewerkstelligen kann.

Es gehört hierzu immer eine Erhebung über den Boden, zwar an manchen Stellen eine nur sehr geringe, doch giebt es kein Land auf der Erde, wo die Schneegrenze an der Meeresfläche anfinge; selbst das Südpolarland, obwohl es einen sehr schlechten Sommer hat, zeigt doch an überhängenden Felsen riesige Eiszapfen, stark genug, um das Verdeck eines Schiffes zu durchschlagen, wenn sie unglücklicher Weise darauf fallen sollten; diese Eiszapfen sind ein Produkt der Schmelzung des Schnee's oder Eises durch die Sonne. Allein die Polargegenden sind diejenigen, in denen sich die Schneegrenze dem Niveau des Meeres am mehrsten nähert.

Ein Verhältniß, das stätig wäre, ist nicht zu ermitteln, es sind eine gar zu große Menge von unregelmäßig wiederkehrenden Ursachen vorhanden, welche auf den Stand der Temperatur Einfluß haben. Wollte man sagen, jede Meile Entfernung vom Aequator entspricht hinsichtlich der Wärmeabnahme einer senkrechten Erhebung von 14 Fuß, so könnte man bezweifeln, daß Derjenige, der diesen Satz aufstellt, vollkommen zurechnungsfähig sei. Geht man aber auf das große Ganze ein, so hat die Sache vollkommen ihre Richtigkeit. Unter dem Aequator muß man 14,000 Fuß steigen um an die Schneegrenze zu gelangen, vom Aequator ausgehend auf ebener Erde, muß man 1000 Meilen nach den Nordpolgegenden wandern, ehe man die Schneegrenze sich dem Meere so weit nähern sieht, daß sie ungefähr im *Meeresniveau* angenommen werden kann — 1000 Meilen zu 14,000 Fuß,

ist ganz genau dasselbe wie 1 Meile zu 14 Fuß. Und obwohl eine Meile so wenig einen irgend wie bemerkbaren Unterschied macht, einen Unterschied, den auch nur ein Differentialthermometer anzugeben vermöchte, so sind die 1000 Meilen doch aus lauter einzelnen zusammengesetzt, und so wenig es durch Beobachtungen nachweisbar ist, daß eine Erhebung von 14 Fuß eine Temperaturdifferenz hervorbringe und brächte man zu diesen Beobachtungen Melloni's Talent mit, so ist doch die Höhe von 1400 Fuß schon genügend, einen Temperaturunterschied von 2 Grad wenigstens nachzuweisen und die 1400 wie die 14,000 Fuß, welche bis zur Schneegrenze unter dem Aequator zurückgelegt werden müssen, sind aus 100 mal oder 1000 mal 14 Fuß zusammengesetzt.

Je weiter ab vom Aequator der Reisende wandelt, desto niedriger liegt die Schneegrenze, allein dieses Niedrigerliegen ist auch nicht der Entfernung vom Aequator proportional; nehmen wir an, die Schneegrenze erreiche die Erdfläche bei 80 Grad, so müßte unter dem 40. Grade die Schneegrenze 7000 Fuß hoch sein, sie ist aber unter dem 45. und 46. Grade noch über 8000 Fuß hoch. Sie bleibt in den tropischen Regionen sehr weit nördlich und südlich vom Aequator bis ungefähr zu den Wendekreisen auf ziemlich gleicher Höhe und fängt erst von da an niederzusteigen; sie nähert sich dem regelmäßigen Gange in den Polarzonen schon viel mehr, erreicht einen vollkommen regelmäßigen Verlauf aber auch dort nicht, denn die Schneegrenze, welche unter dem 60. Grade 3500 Fuß hoch liegen müßte, wird erst mit 4000 Fuß senkrechter Erhebung erreicht und am Nordcap unter dem 77. Grade, wo sie kaum noch 1300 Fuß haben sollte, hat sie volle 2000 Fuß.

Unregelmäßiger Verlauf.

Aber auch in der Nähe der tropischen Zone verläuft die Schneegrenze durchaus nicht regelmäßig, selbst nicht in der Art, daß sie, wie wenig es auch sei, nur wirklich niedriger würde, mit der Entfernung vom Aequator im Gegentheil sind bedeutende Abweichungen nicht zu verkennen. Das Auffallendste, was die physische Geographie hier nachzuweisen vermag, ist das Verhältniß der Schneegrenze am Himalaya-Gebirge, welches erst durch die neuesten Reisen in jenen Gegenden bekannt geworden ist.

Einem Jeden, der nur einigermaßen mit den Naturgesetzen vertraut ist, fällt (wenn er jene Gegenden besucht) auf, daß die Schneegrenze an dem Himalaya-Gebirge eine fast sichtlich von Norden nach Süden geneigte Linie bildet. Der Unterschied zwischen dem ewigen Schnee am Nordrande des

Gebirges und dem am Südrande beträgt 3400 Fuß in entgegengesetzter Abdachung, als man erwarten sollte.

Wenn man nach dem Grunde dieser wunderbaren Erscheinung forscht, warum unter dem 27. Grade nördlicher Breite die Schneegrenze auf hunderte von Meilen bei 12,000 Fuß beginnt und unter dem 30. bis 31. Grade erst bei 15,000 und mehr, so findet man allerdings eine ziemlich nahe liegende Erklärung: der Südabhang des Gebirges steigt in seiner ganzen ungeheuren Höhe aus dem vorliegenden Tieflande der Ganges, des Indus empor, indeß im Norden ein 6- bis 10,000 Fuß hohes Vorland an die Gebirge herantritt.

Diese weiten, wasserreichen Ebenen Indiens, hunderttausende von Quadratmeilen umfassend, senden eine solche Fülle von Ausdünstungen empor, daß jeder Luftzug dem Hochgebirge breite Ströme davon zuführt. Die Rückstrahlung der Wärme aus den Ebenen ist nicht so wirkungsreich, als sie bei der südlichen Lage der Länder sein könnte, weil zuvörderst eine mehr als ½ Meile hohe Luftschicht, die compacteste, die zunächst der Erde gelegen, welche die volle Hälfte der Gesammtmasse unserer Atmosphäre umfaßt, durchschritten werden muß, wobei von der dickeren Luft so viel verbraucht, aufgehalten wird, daß nach den oberen Regionen (zu der ohnedies größerer Wärmemenge bedürftigen Luft) nur ein geringer Antheil gelangt.

Was an Feuchtigkeit dort oben von den Gebirgen sich ablagert, das wird nicht Regen, sondern Schnee und dieser wird nicht geschmolzen durch einen Sommer, der nur um weniges wärmer ist als der Winter, der in den unteren Schichten als Regenzeit auftrat und hier oben Schnee ablagerte.

Vergleicht man nun die Höhe des Nordabhanges mit der des Südabhanges, so ist die erstere beinahe unbedeutend im Vergleich mit der letzteren. Betrachtet man das Gebirge aus den Thälern des Bramputer oder des Indus, so sieht man eine Reihe von meilenhohen Colossen vor sich, betrachtet man es von den Hochebenen im Innern von Asien, so glaubt man gar nicht, daß es dasselbe Gebirge sei, denn es macht kaum mehr den Eindruck unserer Alpen. Die Hochebenen des ganzen asiatischen Tafellandes schichten sich vom Baikal und dem Aralsee an terrassenförmig über einander in einer Ausdehnung von mehr als 300,000 Quadratmeilen und erlangen in der Nähe des Himalaya selbst Gebirgshöhe. Auf den tybetanischen Ebenen, diese Colosse vor sich habend, steht man in Alpenhöhe auf einem Plateau von 10- bis 12,000 Fuß, aber man befindet sich hier noch weit unter der Schneegrenze. Der Paß von Niti, ein Thal 15,780 Fuß über dem Meere gelegen, ist mit dem reichsten Pflanzenschmucke bedeckt, Pappeln,

wie wir dieselben in unsern Gegenden gar nicht zu sehen bekommen, fein gefiederte Tamarisken, zieren die Abhänge, die Thalfläche wird von üppigen Getreidefeldern bedeckt.

Die mächtige Erhebung des Bodens, der von einer noch beinahe tropischen Sonne durchwärmt wird, übt diesen bedeutenden Einfluß auf die Schneegrenze, welche hier um 3400 Fuß höher liegt als auf dem Südabhange. Außer dem bis auf die halbe Höhe des Gebirges stattfindenden Hervortreten des Tafellandes, das seine Rückstrahlung in einer Höhe beginnt, auf welcher jenseits des Gebirges bereits die Schneelinie ausgebreitet ist (daher eine viel mächtigere Wirkung möglich, weil die zu durchstrahlende Luft viel weniger Hinderniß in den Weg legt), ist noch ein anderer Grund vorhanden in der ungetrübten Reinheit der Luft, der Heiterkeit des stets unbewölkten Himmels, daher auch die ungemeine Trockenheit und der Wüstencharakter jener Gegenden, welche nur in der Nähe des Gebirges und von diesen bethaut und genährt, fruchtbare Länder, nicht mehr Steppen sind. Wo nun aber keine Feuchtigkeit sich niederschlagen kann, da kann es auch nur wenig Schnee geben und dieser, so weit er auf dem nördlichen Abhange des Gebirges liegt, scheint fast nur von den mit Südwinden heraufgeführten Massen der Meeresfeuchtigkeit herzurühren.

Auch in der weiteren Erstreckung der gemäßigten Zone finden wir ähnliche von der Regel abweichende Neigungen der Schneegrenze. So ist am Ararat, welcher um 20 Grad weiter nördlich liegt als die Gebirge von Anahuak in Mexico, die Schneegrenze nur um 800 Fuß niedriger, nämlich sie liegt bei 13,300 Fuß, indeß die von Mexico 14,100 Fuß hoch liegt. Es findet hier ein ähnliches Verhältniß wie bei dem Himalaya-Gebirge statt: der Ararat erhebt sich aus dem sehr heißen Armenien ganz vereinzelt, seine beeiste Spitze ist unter dem Namen des heiligen Berges (auf welchem man noch jetzt die Arche unter ewigem Schnee vergraben ruhend glaubt), weithin sichtbar, von dem sehr heißen Lande steigen immerfort Luftströme auf, welche das Haupt des Ararat umspielen und den Schnee viel weiter hinauf schmelzen als sie könnten, wenn ein breiter, meilenweit von Gletschern umlagerter Alpenstock sich daselbst ausdehnte.

Breite und Höhe.

Wie wir bereits gesehen haben, so gehen geographische Breite und senkrechte Höhe in einem gewissen Sinne parallel mit einander, indem je weiter nach beiden hinauf, desto kälter es wird, und auch in der Vegetation spricht sich dieses aus, man erreicht unter dem Aequator, an den Bergen

emporsteigend, nach und nach Pflanzenformen, welche wirklich denen der gemäßigten und zuletzt der kalten Zone entweder vollkommen entsprechen, oder welche gar dieselben sind wie dort. Humboldt selbst sagt: „so kann man unter dem Aequator ansteigend in wenig Stunden alle die Klimate durchmachen und alle die ihnen entsprechenden Pflanzenformen sehen, welche, auf der Erde nordwärts oder südwärts in der Richtung des Meridians gehend, man erst nach 1000 zurückgelegten Meilen erblicken würde"; allein wenn auch diese Thatsache vollkommen wahr ist, möge man doch nicht glauben, daß nun auch dasselbe Klima wirklich so gefunden würde, wie es bei entsprechender mittlerer Temperatur an der Fläche der Erde stattfindet. Die hochgelegenen tropischen Orte haben eine ausgeglichene Temperatur, die polwärts gelegenen eine extreme, d. h. die mittlere Temperatur der beiden als gleich temperirt bezeichneten Orte, rührt bei den hochgelegenen daher, daß ihr Winter nicht streng ist, dagegen auch ihr Sommer nicht warm, umgekehrt rührt die gleiche mittlere Temperatur so weit nordwärts gelegener Gegenden daher, daß sie bei einem zwar furchtbar strengen Winter doch auch einen sehr heißen Sommer haben.

Als Beispiel möge hier die Temperatur des St. Bernhard und eine verwandte in Nordasien folgen.

Das Hospiz auf dem gedachten Passe durch die Schweiz nach Italien liegt 7668 Fuß über der Meeresfläche, seine mittlere Temperatur ist — 1 Grad, es hat während des Winters nicht selten eine Kälte von 19 Grad zu ertragen und sein Sommer bringt ihm kaum 14 Grad.

Zu Nischnei Taguilsk in Sibirien unter dem 58. Grad nördlicher Breite findet man nahezu dieselbe mittlere Temperatur, sie beträgt $^{7}/_{10}$ Grad unter 0. Die Winter stellen das Thermometer Monate lang außer Gebrauch, wenn es Quecksilber enthält, denn dieses gefriert, — 29 ist die mittlere Temperatur der Wintermonate. Dagegen erhält durch die lange Dauer der Sommertage die Sonne dort eine solche Wirkung, daß die Hitze eine wahrhaft tropische wird, sie steigt auf mehr als 30 Grad im Schatten und so haben die Hospitaliten auf dem Bernhard und dem beinahe eben so gelegenen Gotthard wohl Recht, die Lappländer und die Bewohner von Sibirien zu beneiden, wie Erman d. ä. mit viel Laune erzählte.

In Folge dieser Unterschiede, bei einer sonst gleichen mittleren Temperatur, ist natürlich auch die Vegetation, welche ganz von der Sonnenwärme abhängt, eine sehr verschiedene; darum ist auch die Erde viel weiter nach dem Norden zu bewohnbar, als sie der Höhe nach bewohnbar ist, wenn man die mittlere Temperatur als maßgebend und die Schneegrenze auch als Grenze der Bewohnbarkeit ansehen will. Für die höchsten bewohnten Orte

galten ehemals die Meierei am Antisana in Quito und das weite Thal von Titicaca, welches Städte und Dörfer umschließt, die nicht eben mit Noth zu kämpfen haben, wenn schon manche Bedürfnisse, wie Holz und Aehnliches, weit hergeholt werden müssen und deshalb theuer sind. Noch höher ist indeß der bereits berührte Paß von Niti im Himalaya-Gebirge und seine Bewohnbarkeit ist noch größer als die des Titicacathales, denn außer den üppigsten Kornfeldern, welche man daselbst findet, stehen auch prächtige Bäume auf dieser Höhe, welche jenem Andesthale gänzlich fehlen.

Bedeckung der Thiere.

Jedes Thier hat seinen ihm angewiesenen Temperaturbezirk und ist danach gebildet und gekleidet; der Seehund, der Wallfisch in ungeheure Speckmassen, Wolf, Bär, Zobel, Fuchs in einen kostbaren Pelz, den man ihnen gegen gegossenes Blei in Pillenform abhandelt, der Elephant, das Rhinoceros, das Nilpferd sind ganz nackt, die Giraffe, die Gazelle, der Tiger haben ein kurzes, sehr glatt anliegendes Haar, und was in den gemäßigten Zonen wohnt, ist je nach der mehr oder minderen Wärme seines Wohnortes besser oder schlechter, aber immer zweckgemäß bedeckt, der Bär und das Murmelthier der Alpen ganz anders als der Hamster der Ebene, ja es erstreckt sich diese zweckmäßige Bekleidung bis auf die Hausthiere. Die Natur übernimmt nichts Unnöthiges, die Arbeit, welche der Mensch für sie verrichtet, braucht sie nicht mehr zu verrichten, sie übernimmt dann auch nicht einmal den Versuch dazu. Das Pferd bekommt in unseren Gegenden für die kalte Jahreszeit ein flockiges Winterkleid; der Reiter, welcher hieran keinen Gefallen und dies unschön findet, bedeckt das Thier während des ganzen Winters auch im Stalle, giebt ihm für Kopf, Hals, für den ganzen Körper ein wärmendes Gewand; nun bleibt das Fell glatt, es wird gar kein dickeres Pelzwerk erzeugt, dagegen der Hase, das Schaf im Winter auch nicht friert, weil sie, täglich im Freien ohne Bedeckung, durch die Natur ihren wärmeren Rock erhalten.

Auch in der heißen Zone giebt es Thiere mit trefflichem Pelz, wie die Chinchilla, allein nicht in den warmen Gegenden derselben, sondern auf den Hochgebirgen; im Gegentheil verlieren Pelzthiere, welche durch den wandersüchtigen Menschen dahin versetzt werden, wie das Schaf, oder auch Vögel, wie Gans, Ente ꝛc. ihr für den neuen Wohnort zu schweres, unzweckmäßiges Kleid, das Schaf verliert die Wolle, das weiche Vließ und wird grobhaarig, die Gans behält nur die harten Deckfedern und verliert die Daunen; von

selbst wandert auch kein Thier nach Gegenden hin, welche ihm nicht angemessen sind.

Biegsamkeit der menschlichen Natur.

Der Mensch allein ist geeignet, jedem Klima sich anzuschließen, jeder Witterung Trotz zu bieten. Auf der Grenze der bewohnbaren Erde, im höchsten Norden, wohnen nur die Eskimos, Lappen und Samojeden, ein Menschenstamm (ob verwandt oder nicht, gleichviel), welcher fast nur von thierischer Nahrung lebt, indem sein Wohnplatz ihm keinen Spargel und keinen Blumenkohl für die Tafel liefert, Seehundspeck und Fleisch, Fische in getrocknetem, frischem oder als besondere Delicatesse in halb verwestem Zustande, sind seine Nahrung. Dies ist entsetzlich, sagen wir vielleicht, allein dem Eskimo behagt das sehr und unser Leben findet er entsetzlich, arm an allen Genüssen, die das Leben so reizend machen, wie das Trinken von Seehundsthran. Aber der Eskimo kann in Paris, in Rom oder in Kairo leben, kann gesund sein und sein gewöhnliches Alter erreichen.

Unter der tropischen Sonne des mittleren Afrika leben Negerstämme, welche durch „die edelste Nation", durch „das moralischste Volk der Erde", durch „die alleinigen Retter und Bewahrer der Menschenrechte und der Freiheit", durch die Nordamerikaner schockweise und hundertweise um ein Billiges eingekauft und in Nordamerika auf dem Menschenmarkte des freien Landes mit einem mäßigen Profit von 4000 bis 6000 Procent verkauft werden.

Diese Neger leben nackt in ihren heißen Sümpfen, leben bekleidet in den Sümpfen der Luisiana, in den Bergen von Carolina und Georgien und leben als Flüchtlinge in dem kalten Canada, so wie sie in unserm gemäßigten Klima als Bediente oder als Handwerker leben; die gänzlich veränderte Lebensweise, das total fremde Klima mit allen seinen Beschwerden kann von ihnen überwunden werden.

Und der Deutsche, der Franzose, der Holländer, wo wäre er nicht zu finden? Wo es Erde giebt, um festen Fuß darauf zu fassen, da haben Engländer ihre Flagge im Namen der Königin Victoria oder des Königs Wilhelm, des Königs Georg aufgepflanzt, dort haben sie Colonien angelegt, und wenn auf dem neu entdeckten Südpolarlande nur etwas anderes als 1000 Fuß dickes Eis zu finden wäre, so hätten sie auch dort eine Colonie angelegt; Europäer findet man zum Unglück für die armen Urbewohner auf den Freundschaftsinseln wie auf Neuholland, in der Mitte von Südamerika wie in der Mitte von Hochasien, auf dem unwirthbaren Kerguelens-

land und den Falklandsinseln wie auf Grönland und Kamtschatka, unter den schneidendsten Contrasten der Temperatur halten sie aus, Jahre lang, wie die Nordpolarreisenden in einer halbjährigen Nacht und einem halbjährigen Tage, halten sie aus bei einer Kälte von — 55 und bei einer Hitze von + 45 Grad, also in einem Temperaturunterschiede von vollen hundert Graden, eine wunderbare Fähigkeit sich den verschiedenen klimatischen Verhältnissen anzuschmiegen bekundend.

Vibrations-Theorie.

Wo er aber auch sei, der Mensch und seine beiden treuen Begleiter, der Hund und das Pferd, da befinden sie sich in einer Temperatur, welche durch die Sonne hervorgerufen und durch die anderen Verhältnisse nur modificirt ist, die Sonne also ist und bleibt die stärkste Quelle für die Wärme der Erde. Ob es für andere, fernere Planeten auch so sei, wissen wir allerdings nicht mit der Gewißheit, welche wünschenswerth wäre, allein wir haben doch einigen Anhalt zu der Vermuthung, daß es so sei, denn der Planet Mars, welcher schon außerhalb der Erdbahn kreist, zeigt, daß seine Pole sich mit Schnee bedecken, wenn sie von der Sonne abgekehrt sind, daß sie schneefrei werden, wenn sie der Sonne zugewendet stehen, da ist etwas, unserem Sommer und Winter, welche auch von dem Stande der Sonne abhängen, vollkommen Analoges. Das Wie der Erwärmung durch die Sonne, der Mechanismus dieses Effectes, wenn man so sagen darf, ist übrigens vollkommen unbekannt und es wird nur gemuthmaßt, daß er auf schnellem Erzittern der Körpertheile, auf Vibration beruhe und daß Schall, Wärme und Licht nur Modificationen derselben Thätigkeit seien. Wenigstens glaubt der Verfasser den geistreichen Dove so verstehen zu müssen. Dieser sagt in seiner Schrift über Wirkungen aus der Ferne:

„In der Mitte eines großen finsteren Zimmers mag sich ein Stab befinden, der in Schwingung versetzt ist und es soll zugleich eine Vorrichtung vorhanden sein, die Geschwindigkeit dieser Schwingungen fortwährend zu vermehren. Ich trete in dies Zimmer in dem Augenblicke, wo der Stab viermal in einer Secunde schwingt. Weder Auge noch Ohr sagt mir etwas von dem Vorhandensein dieses Stabes, nur die Hand, welche seine Schläge fühlt, indem sie ihn berührt. Aber die Schwingungen werden schneller, sie erreichen die Zahl 32 in der Secunde und ein tiefer Baßton schlägt an mein Ohr.

Der Ton erhöht sich fortwährend, er durchläuft alle Mittelstufen bis zum höchsten, schrillenden Ton, aber nun sinkt Alles in die vorige Grabes-

ſtille zurück. Noch voll Erſtaunen über das, was ich hörte, fühle ich plötzlich von der Stelle her, an welcher der Ton verhallte, eine angenehme Wärme ſich ſtrahlend verbreiten, ſo behaglich wie ſie ein Kaminfeuer ausſendet. Aber noch bleibt Alles dunkel; doch die Schwingungen werden ſchneller, ein ſchwaches, rothes Licht dämmert auf, es wird immer lebhafter, der Stab glüht roth, dann wird er gelb und durchläuft alle Farben, bis nach dem Violet Alles wieder in Nacht verſinkt. So ſpricht die Natur nach einander zu verſchiedenen Sinnen, zuerſt ein leiſes, nur aus unmittelbarer Nähe vernehmliches Wort, dann ruft ſie mir lauter aus immer weiterer Ferne zu, endlich erreicht mich durch Schwingen des Lichtes ihre Stimme aus unmeßbarer Weite.

Bei der weiten Kluft, welche die Schwingungen des Tones von denen trennt, welche die Netzhaut erregen, würde es unbillig ſein, von dem Phyſiker zu verlangen, daß er dieſe Reihe von Verſuchen mit demſelben Körper und mit denſelben Erregungsmitteln darſtelle. Selbſt Paganini würde in Verlegenheit gerathen, wenn man von ihm verlangte, auf der E-Saite ſo lange zu ſpielen, bis ſie leuchte; ich wende mich an einen größeren Virtuoſen, an das Johanniswürmchen, welches mir in der Hand ſtill fortglüht, wenn ich es aus dem thauigen Graſe aufgerafft, ich wende mich an die ſchäumende Meereswoge, wenn ſie brandend ihre leuchtenden Funken umherſpritzt."

Wellenlehre.

Was die eigentliche Identität der Wärme und der Lichtſtrahlen betrifft, ſo iſt ſie (die Identität, das Einerleiſein) wohl widerlegt, denn es läßt ſich durch Experimente nachweiſen, daß beide, Wärmeſtrahlen und Lichtſtrahlen neben einander, im Raum von einander geſchieden zu finden ſind, und daß es Körper giebt, welche Wärme durchlaſſen und Licht nicht, umgekehrt giebt es ſolche, welche Licht durchlaſſen und Wärme nicht. Allein da es thatſächlich iſt, daß die Sonne uns Licht- und Wärmeſtrahlen zuſendet (nicht daß wir das Licht in Wärme verwandeln), ſo fragt man mit Recht: wie geſchieht denn dies? werden wir mit dieſen feinen Lichttheilchen beſchoſſen wie mit Vogeldunſt (nur mit einer etwas feineren Materie) und wenn dies der Fall iſt, wie kommt es, daß die Erde durch den Gewinn nicht größer, die Sonne durch den unendlich großen Verluſt nicht kleiner wird?

Da erwiedert die Phyſik: zwiſchen den Weltkörpern befindet ſich ein äußerſt feiner Stoff, der Aether, deſſen Exiſtenz auch an der Verkleinerung der Kometenbahnen erwieſen worden iſt. Die Sonne, dieſe unſere mächtigſte Wärmequelle, ſendet nicht Strahlen zu uns, ſie erſchüttert nur dieſen

Aether und dessen Wellen schlagen nach 8 Minuten an unsere Hautoberfläche und setzen diese in ähnliche Schwingungen, wodurch sie erwärmt wird und leuchtet, d. h. sichtbar wird.

Dabei bewegen sich die Theile des Aethers so wenig von der Sonne zu uns, als die Lufttheile, welche von der tönenden Glocke oder der schwingenden Saite ausgehen und zu uns gelangen, oder die Theile des Wassers, welche den Weg der durch einen Steinwurf erregten Wellen mitmachen. Daß die Luft den Schall fortpflanzt, kann man durch Experimente nachweisen, die Luftsäule zwischen dem Violinspieler und einem Trommelfell wird so oft zusammengedrückt und ausgedehnt, als die Saite schwingt, und wo man die Schallwellen zusammenhalten kann, da geschieht dies auf eine solche Weise, daß die Schwingungen sich meilenweit fortpflanzen, und man am Ende der Wasserleitung von Marly, unfern Paris, das leiseste Geflüster eines Sprechenden und das Ticken einer Uhr vernimmt; allein durch die so hörbar bewegte Luft geschieht nichts Fühlbares und die zarteste Flaumfeder wird nicht bewegt, es sei denn, daß man einen Pistolenschuß in die Röhre thut, dann ist es aber nicht der Schall, sondern die durch die Explosion erzeugte Gasmenge, welche den Stoß ausübt.

Auf einem großen ruhigen See errege man durch einen weit nach dessen Mitte geworfenen Stein die bekannte Erscheinung der Wellenkreise. Man wird die Wellen von der Mitte her anschwellen, in immer größeren Ringen den See überlaufen, man wird endlich die Wellen an das Ufer schlagen sehen und es unterliegt keinem Zweifel, daß man bei einiger Aufmerksamkeit diese Erscheinung verfolgen könne, so weit dies die mehr oder minder beschränkte Ausdehnung der Wasserfläche irgend gestattet; allein wie weit die Wellen auch gehen, das Wasser geht nicht mit, es steigt und sinkt auf derselben Stelle, aber es schreitet nicht fort, wie man sehr deutlich an einem Span oder irgend einem andern leichten und schwimmenden Gegenstande wahrnehmen kann.

In derselben Weise sind nun die Wellen des Aethers zu nehmen, Licht und Wärme setzen denselben in Schwingung, die Schwingung pflanzt sich fort, bei dem Wasser in einer Secunde durch 10 — 15 Fuß, beim Schall in einer Secunde um 1010—1050 Fuß, beim Aether um 41,000 Meilen in einer Secunde.

Dies sind Thatsachen. Man kann das nicht begreifen! Was schadet denn dies der Möglichkeit, ist denn nur das möglich, was wir begreifen können? O Himmel, wie beschränkt wäre dann die Welt und Alles, was darin erscheint. Wer kann denn begreifen, wie aus dem Samenkorn eine Pflanze wird, welche Blüthen und Früchte trägt? Wer kann denn

begreifen, wie ein Kind aus Wasser und Zwieback Blut und Fleisch fabricirt? Wer kann begreifen, wie dadurch, daß eine Kuh Gras frißt, ein Geheimerath Sahne zu seinem Kaffee bekommt?

„Nur muß man sich nicht all zu ängstlich quälen,
Denn eben wo Begriffe fehlen,
Da stellt zur rechten Zeit ein Wort sich ein!"

sagt Mephisto zu dem Schüler.

Wärmeausstrahlung.

Der bekannte Gelehrte, Professor Munke in Heidelberg (seit einigen Jahren todt) konnte das auch nicht begreifen und eiferte darum gegen die Ansicht, er gesteht jedoch auch ehrlich genug ein, daß er keine bessere zu geben wisse; er hat auch überhaupt nur Bedenken gegen die Erwärmung der Erde durch die Sonne, er meint, dadurch müsse sie nach und nach heißer werden und sich stärker ausdehnen, also dann auch langsamer sich in ihrer Axe drehen. Eine solche Vermehrung der Wärme ist aber ganz unzulässig, da wir 3000jährige Beobachtungen über die sich gleich bleibende Tageslänge haben „und wir können daher auch nicht annehmen, daß Wärme der Erde durch die Sonnenstrahlen zugeführt werde, da wir nicht einzusehen vermögen, wie sie zu ihrer Quelle zurückkehren könnte." Dies sollte ein Professor der Physik wohl nicht sagen, erstens ist da das „nicht begreifen können" wieder als Argument gegen die Möglichkeit aufgestellt, zweitens ist hier die Emanationstheorie mit der Vibrationstheorie vollständig verwechselt, diejenige, nach welcher das Licht als Masse, als Substanz uns von der Sonne zugesendet wird (Emanationslehre, nach welcher die Sonne giebt, die Erde empfängt, also freilich die eine kleiner werden muß durch ihren Verlust, die andere größer durch das Empfangene, an welche, von Newton aufgestellte Lehre seit 30 Jahren kein Mensch mehr denkt) mit derjenigen, da die Sonne nur den Anstoß zu den Lichtwellen giebt, wie die Glocke zu den Schallwellen. Die Glocke wird dadurch, daß tausende von Menschen sie tausende von Jahren klingen hören, auch nicht kleiner.

Munke begreift auch nicht, wie die erregte Wärme während der Nacht und während des Winters entweichen könne von der Erde, er nennt diese Annahme eine Täuschung, die ja lediglich auf dem Wechsel der Temperaturen beruhe. Allein er vergißt, daß die Ausstrahlung des Erdkörpers gegen den blauen Nachthimmel gleichfalls eine Thatsache ist, die nun einmal feststeht, wir mögen sie begreifen oder nicht. Es hindert kein Bauer eine Elektrisirmaschine am Funkengeben oder eine Locomotive am Fortlaufen ohne

Pferde dadurch, daß er es nun einmal nicht begreift, es geschieht doch. Die Vibrationstheorie ist aber gerade so gut wie der Verlust der Erdwärme durch Strahlung eine Thatsache geworden, welche durch höchst interessante Experimente vollständig nachgewiesen werden kann, und diese Strahlung ist kein Austausch der Wärme eines Landes gegen die Wärme eines andern, wie z. B. mit Luftströmungen, die wir Winde nennen, ein solcher Austausch stattfindet, sondern es ist das Abgeben (also Verlieren) der Wärme der Erde an den weiten Himmelsraum, es ist derselbe Vorgang alle Nacht im Kleinen und für den Winter jeder Erdhälfte im Großen, es ist derselbe Vorgang, welcher die Erde von der Schmelzhitze bis zur Bewohnbarkeit ihrer Oberfläche abgekühlt hat, welcher jetzt nur langsamer vor sich geht als früher (wo die Temperatur viel höher war, eine 1000 Grad heiße Kugel verliert in einer Stunde viel mehr Wärme als eine 100 Grad heiße Kugel von derselben Größe in derselben Zeit), welche indessen doch so weit gedrungen ist, daß wir eine feste Erdschicht von 20 bis 50 Meilen Dicke bewohnen.

Temperatur der Tiefe.

Es sind allerdings auch hiergegen Einwendungen gemacht, doch auch diese sind siegreich aus dem Felde zu schlagen. Man weiß durch Versuche, welche in dem ewig gefrornen Boden Sibiriens wie in dem nie gefrornen Boden des südlichen China, man weiß aus Versuchen, in Deutschland, in Frankreich, im Ohiostaat und in Mexico gemacht, daß die Temperatur der Erdrinde bis zur Tiefe von 80 bis 90 Fuß genau gleich ist der mittleren Temperatur des Landes, man weiß, daß von da abwärts der Boden bei je 100 Fuß um einen Grad des hunderttheiligen Thermometers wärmer wird und zwar sowohl bei Minden in Preußen, woselbst der tiefste arteſische Brunnen erbohrt worden, als bei Irkutzk, wo man auch gegen 800 Fuß in den Boden gedrungen ist. An der Oberfläche hat der eisige Boden die mittlere Temperatur des Jahres, im Winter ist derselbe — 24 Grad, bei 100 Fuß nur noch 23, bei 400 Fuß nur noch 20 und bei 800 Fuß nur noch 16 Grad.

Würde man dort 2400 Fuß abwärts kommen, so würde man zu 0 und dann zu + 1 Grad ꝛc. gelangen, gerade wie man bei Minden von + 9 zu + 32 Grad gelangte.

Nun sagen die Ungläubigen unter den Gelehrten: es kann nicht so fort gehen, sonst müßte bei 7 oder 8 Meilen die Glühhitze, weiter abwärts die Schmelzhitze gefunden werden und das wäre unbegreiflich — es könnte

also nicht sein. Noch weniger könnte man dies aufrecht halten, wenn man nun noch weiter abwärts stiege zu Schichten, in denen es nothwendiger Weise so heiß sein müßte, daß die geschmolzenen Gesteine und Metalle daselbst verdampften und dies würde zur Zertrümmerung der Erde führen.

Zuerst giebt es in der Physik keinen Glauben, sondern ein Wissen oder Nichtwissen. Glaube ist Sache der Religion, ich glaube an Gott, weil ich nicht einen physikalischen Beweis seines Daseins verlangen kann, weil ich ein Narr wäre, wenn ich es verlangte. Allein ob die Planeten Weltkörper sind oder blanke Nägel am Himmelszelt, ob die Erde ein solcher Planet ist oder nicht, dies will ich nicht glauben, sondern wissen, und Sachs, dessen wunderliche Theorie von der Bewegung der Erde Enke nach vielen vergeblichen Bemühungen, den alten Mann von der Irrigkeit seiner Ansichten zu überzeugen, damit beseitigen wollte, daß er sagte: „glauben Sie mir, es ist so", wie wir gewohnt sind, die Sache anzuschauen, hatte ganz Recht als er erwiederte: „was geht mich Ihre Ansicht an, ich erkenne keine Autorität, ich will nicht glauben, ich will wissen, überzeugen Sie mich, aber fordern Sie nicht meinen Glauben auf!"

Dies ist also ein Argument, welches nicht zieht! Ferner sagen sie: Glühhitze bei 7 bis 8 Meilen Tiefe, das kann nicht sein, das können wir nicht begreifen. Dies ist der schon einmal bestrittene schwache Punkt — begreifen? das ist gar nicht nöthig, es kann deswegen doch sein — aber endlich die Hitze steigt so hoch, daß die Steine und Metalle dort verdampfen und den Erdkörper zersprengen? Auch solch eine Einwendung sollte kein Physiker machen, und wer sie macht, ist auch kein Physiker, kein Naturkundiger, wenn er auch ein sehr alter Professor der Physik ist. Solche Einwendung sollte er nicht machen, wenn er nicht den Beweis führen will, daß man sein Lehrgeld und seine Gebühren für den Meisterbrief und die Aufnahme unter die Zünftigen indebite erhoben habe, was ihn berechtigen würde, sich dasselbe wiedergeben zu lassen.

Ein Physiker kann die obige Einwendung nicht machen, denn er muß wissen, daß schon Wasser an der Oberfläche, an der freien Luft lediglich unter dem verschiedenen Druck der Atmosphäre, bei verschiedenen Graden kocht, daß man es in seiner Gewalt hat, die Siedehitze zu steigern bis auf 200 bis 300 Grad, lediglich durch den Druck, den man darauf ausübt, indem man die sich entwickelnden Dämpfe hindert zu entweichen daß man endlich einen Körper, der so leicht verdampft wie das Wasser und dessen Dämpfe so ungeheure Spannkraft haben, daß sie das stärkste Schmiedeeisen zersplittern wie Glasscherben, an der Verdampfung gänzlich *hindern, daß man* ihn zum Glühen bringen kann.

Immer höher steigende Temperatur.

Nun aber findet im Innern der Erde ein ungeheurer Druck statt, ein Druck, welcher bei einer mittleren Dichtigkeit der Erde von $4\frac{1}{2}$ (d. h. so viel schwerer als Wasser) bei je 7 Fuß Tiefe einer Atmosphäre gleich kommt; wir wollen aber den Erdkörper gar nicht schwerer als Wasser und ihn auch gar nicht schwerer in's Sieden zu bringen annehmen und werden doch zeigen, daß das Innere der Erde durchaus nicht bis zum Kochen und dadurch möglicher Weise bis zum Verdampfen erhitzt werden könne, wenn die Hitze auch viele Millionen Grade betragen sollte.

Die Hitze, bei welcher Wasser siedet, beträgt unter den gewöhnlichen Umständen 100 Grade. Bei einem Druck von einer zweiten Atmosphäre, der bei 32 Fuß Wasserhöhe eintreten würde, kocht das Wasser erst bei 112 Grad C. und auf dem Wege des Absteigens in den Schooß der Erde diese Temperatur zu erreichen, müßten wir im mittlern Deutschland 10,000 Fuß tief graben. Dort in einem 10,000 Fuß tiefen Schacht, der jedoch nicht mit Luft, sondern mit der herausgegrabenen Erde gefüllt wäre, dort würde das Wasser die Temperatur finden, welche nöthig wäre, um unter zwei Atmosphären zu sieden. Allein es stände, die Schwere der Erde nur der des Wassers gleich gesetzt, in solcher Tiefe schon unter einem Druck von 300 Atmosphären; bei 50 Atmosphären würde die zum Sieden erforderliche Hitze schon 265 Grad sein, bei 300 Atmosphären beträgt sie gar schon 397 Grad. Um aber nur die erste Temperatur zu erreichen, müßten wir ungefähr 26,500 Fuß abwärts steigen; dies entspräche, wenn die Erde nur so dicht wie Wasser wäre (sie übt jedoch einen beinahe 5 Mal größeren Druck aus), einem Drucke von 828 Atmosphären. Um diesen Druck aber zu überwinden, bedarf das Wasser einer Hitze von 500 Grad und um diese zu finden, muß man 50,000 Fuß abwärts steigen; hier hat man natürlich einen noch viel höheren Druck und dieser höhere Druck fordert natürlich eine noch viel größere Hitze, wodurch man wieder genöthigt wird, abwärts zu steigen, um dadurch den Druck abermals zu erhöhen.

Diese paar Beispiele zeigen zur Genüge, daß eine Besorgniß wie die beregte, das Innere der Erde müsse sich in Dampf auflösen und dieser die Erde zersprengen, eine sehr unbegründete ist, denn dies würde nicht einmal geschehen, wenn die Erde aus dem leicht kochbaren Wasser bestände; da sie aber aus Stoffen besteht, welche beinahe 5 Mal dichter sind als das Wasser und aus Substanzen, deren Schmelzpunkt Tausende von Graden höher liegt als der Schmelzpunkt des Wassers (0 Grad), deren Siedepunkt also wenig-

ſtens 100,000 Grade höher liegt, aber eben ſo verrückbar als der des Waſſers iſt, alſo bei einem Drucke von vielen Meilen einer ſchweren flüſſigen Maſſe, einer noch viel höheren Temperatur bedarf, ſo hat man keine Urſache, beſorgt zu ſein — dies ſprengt, auch wenn es ſich Alles wirklich ſo verhält und die Erde wirklich in ihrem Innern geſchmolzen iſt (welches anzunehmen wir die größte Urſache haben und welches geſchmolzene Innere wir in Hunderten von Vulkanen aus der Erde heraustreten ſehen) die Erdkruſte nicht — allein eine andere Frage über die Möglichkeit einer ſolchen Cataſtrophe hängt mit der Durchwärmung der Erde durch die Sonne auf das Innigſte zuſammen.

Wärmeverluſt der Erde.

Erhält die Erde von der Sonne ſo viel Wärme als ſie durch Ausſtrahlung verliert?

Daß die Erde durch das Letztere immerfort verliere, unterliegt keinem Zweifel; daß ſie ſich dadurch bis auf ihre gegenwärtige Temperatur abgekühlt habe, iſt ganz erwieſen; daß dieſe Abkühlung ein Zuſammenziehen der Erdrinde zur Folge habe, vermöge deren ein Druck auf das geſchmolzene Innere ausgeübt wird, iſt einem Jeden begreiflich, der nur ein Weniges ſich in der Phyſik umgeſehen hat. Dieſe Zuſammenziehung hat einen Bruch, einen Riß zur Folge, der hier die Alpen, dort das Himalaya-Gebirge, jenſeits des Oceans die Andes emporgeſchoben oder der ein anderes Mal das Hochland des innern Aſiens gehoben hat.

Es frägt ſich nun, kühlt ſich die Erde noch ferner ab?

Geſchieht dies, ſo zieht ſie ſich auch zuſammen, der Druck auf das geſchmolzene Innere wird immer größer und wir ſind keinen Tag vor einer neuen Cataſtrophe ſicher, vielleicht kommen nach einer Million von Jahren die Abkömmlinge eines neuen Adam auf die Gedanken, aus den Schichtungen der Gebirgsarten, aus den Braunkohlen, dem Torf und andern Formationen auf eine untergegangene Welt zu ſchließen, in welcher es ganz wunderbare Früchte gegeben hat, deren eigentliche Beſchaffenheit man ſchwer erkennen kann, da ſie lediglich in kugelförmigen Abdrücken beſtehen, in deren hohlem Innern entweder ein kleiner runder Kern, oder ein großer länglicher, oder ein noch größerer, ziemlich narbiger, befindlich, oder in denen ſich in Fächer abgetheilte Kapſeln mit ſehr kleinen länglichen, auf einer Seite ſpitzen Steinen befinden — ſie werden dieſe Kerne, dieſe hohlen Abdrücke, oder die Ausfüllungen derſelben mit Kieſel, mit Opal in ihren Naturaliencabinetten bewahren; werden die Blätter- und Zweigabdrücke aufſuchen und vielleicht ſehr

falſch claſſificiren; werden aus Getreideähren eine Pflanze und aus den abgemäheten Stoppeln eine andere machen; werden in den Wurzelſtöcken der Tanne, Eiche und Buche neue wunderbare Species entdecken, welche ein wunderſames Leben ganz in der Erde führten und nur mit einem kurzen, tonnenähnlich geſtalteten Stamme über die Erde, an das Tageslicht kamen; ſie werden nicht ahnen, wie gut uns jene Früchte, Kirſchen, Pflaumen, Pfirſiche, Aepfel und Birnen, an denen ſie ſich ihre Weisheitszähne ausbeißen, geſchmeckt haben; ſie werden nicht ahnen, daß jene wunderbare Pflanzenſpecies, jene neue Sigillaria, durch einen Königlich Preußiſchen Förſter geſchaffen iſt, deſſen Gebeine ſie vielleicht unfern des von ſeinem Hammer bezeichneten Stammes finden und ſie unter die Ungeheuer der Vorwelt, nach den Zähnen unter die Allesfreſſer (omnivorax) claſſificiren; ſie ſammeln vielleicht unſere Koprolithen, in Form ſehr verſchieden und ahnen nicht, daß ſie von demſelben Thiere ſtammen und nur verſchiedenen Geſundheits- oder Krankheitszuſtänden ihre Form und Farbe verdanken, daß der mehr oder mindere Verbrauch einiger Moriſon'ſcher Pillen es iſt, welche ihnen, den erleuchteten Heroen der Wiſſenſchaft jener fernen Zeit, ſo viel Kopfzerbrechens macht.

Hat die Sonne jedoch hinlängliche Kraft, um der Erde den Verluſt, welchen ſie allnächtlich erleidet, alltäglich und zwar vollſtändig wieder zu erſetzen, nun dann haben wir nicht nöthig eine ſolche Cataſtrophe zu befürchten, dann findet keine fernere Zuſammenziehung ſtatt und die Abkühlung des Erdinnern ſchreitet nicht weiter, es ſei denn dadurch, daß aus den Schloten des Erdinnern, aus den Feuereſſen, die wir Vulkane nennen, glühende Maſſen entführt, an die Oberfläche gebracht werden. Dieſe Maſſen aber ſind ſo verſchwindend klein, daß ſie unmöglich von einer ſelbſt in Millionen Jahren bemerkbaren Verringerung des Erdinnern begleitet ſein können. So lange der Aetna beſteht — und nehmen wir an, er habe urſprünglich mit der Fläche der trinakriſchen Inſel ganz gleich gelegen, wie die Schlammvulkane bei Agrigent — hat er noch keine Kubikmeile an geſchmolzenem Geſtein aus dem Innern an das Tageslicht befördert. Die Geſammtmaſſe der kleinen Berge, welche ihn umlagern, ſeine Schöpfung ſind und das Centralgebirge, welches wir im weiteſten Sinne „Aetna" nennen, ſo wie „der Brocken" und andere bilden, beträgt noch lange nicht $\frac{1}{2\,60\,000\,000}$ des Erdinnern (dies wäre eine Kubikmeile), wenn es nun aber auch ſo wäre — was ſollte das wohl ſagen — es wäre ungefähr ſo, als wolle man von einem mit Sand beladenen vierſpännigen Wagen ein Körnchen von den Hinterrädern wegnehmen und über die Vorderräder legen, damit den Pferden die Laſt erleichtert würde.

Dergleichen Veränderungen also entziehen sich der Beobachtung, ja beinahe der Berechnung; was wir aber von der Pflanzengeographie und von der Astronomie annehmen, ist, daß die Pflanzen, welche gewisse Temperaturgrade zu ihrer Entwickelung brauchen, Palmen, Reben, Reis ꝛc., noch jetzt in denselben Gegenden vorkommen, in denen sie vor 3000 Jahren vorkamen und daß sie zu derselben Zeit blühen, Früchte tragen und reifen, daß ferner die Tageslänge vollkommen dieselbe ist wie 2000 Jahre vor Christi Geburt, daß sie mithin in dieser Zeit weder zugenommen hat noch kürzer geworden ist, oder, was dasselbe sagen will, daß wir auf dem Standpunkte angekommen sind, auf welchem Verlust durch Ausstrahlung und Gewinn durch Einstrahlung vermöge des Lichtes der Sonne, sich so vollkommen ausgleichen, daß wir kein Mehr oder Minder auf einer Seite wahrzunehmen vermögen.

Druck und Reibung.

Als nächste Quelle der Wärme liegt uns die Reibung und der Druck vor. Wir haben schon davon gesprochen, daß der Schmied durch schnelles Hämmern ein Eisenstäbchen glühend machen und daß man Luft so stark zusammen drücken kann, daß sie leicht entzündliche Körper, Schwamm, Kohle, zum Glühen bringt. Umgekehrt bringt auch Ausdehnung eine Verringerung der Temperatur mit sich. Wir haben daran erinnert, daß ein Thermometer unter der Glocke einer Luftpumpe bei raschem Verdünnen sinkt, man kann den Versuch sehr viel auffallender in folgender Art machen.

In ein Gefäß von geschlagenem oder gewalztem Messing, wie es benutzt wird, um Gas zur Beleuchtung der Zimmer transportabel zu machen (in Wien sehr häufig angewendet, indem man in einem Cylinder von 1 Kubikfuß Inhalt 30 Kubikfuß Gas preßt), pumpt man atmosphärische Luft nur bis zum vier- oder fünffachen des Inhalts. Man sperrt die eingeschlossene Luft durch den Hahn ab und läßt sie, durch die Compression jedenfalls erwärmt, die Temperatur der Umgebung annehmen.

Oeffnet man nun den Hahn, so strömt die Luft mit um so größerer Gewalt aus, je mehr sie zusammengedrückt war, sie dehnt sich aber auch in demselben Verhältniß aus, nimmt also plötzlich statt des einfachen den vier- oder mehrfachen Raum ein und hierdurch wird eine so starke Temperaturerniedrigung hervorgerufen, daß ein nasses Tuch, in den Strom gehalten, an denjenigen Stellen, an denen es getroffen wird, sogleich mit Eis überzogen erscheint.

In einem der Bergwerke Ungarns, in Schemnitz, wird das Wasser

durch comprimirte Luft aus der Tiefe empor getrieben; man läßt diese letztere, welche in einen großen, starken Windkessel gepumpt ist, auf das zu hebende Wasser wirken und dieses steigt, nach dem Grade der Zusammendrückung, drei, vier und mehrere Atmosphären hoch bis über den Rand des Schachtes hinaus, woselbst die Ausgußröhren in ein Gerinn münden.

So lange die mächtigen Steigröhren bis zum Grunde hinab noch gefüllt sind, geht der Ausfluß in ziemlich gleicher Stärke regelmäßig von Statten; sobald aber die Röhren selbst nur noch das Wasser liefern, indem der Vorrath im Bassin schon erschöpft ist, wird mit jedem Augenblick die Last, welche auf der Luft ruht, geringer, sie dehnt sich also, je geringer der Druck wird, desto lebhafter und rascher aus und schleudert die letzten 30 Fuß Wasser aus den Röhren mit einer überraschenden Gewalt hinaus. Natürlich geht dies nicht, wie in einem Barometerrohr, ohne Störung, es fällt Wasser in großen Tropfen und Adern zurück und wird mit der Luft vermischt, ausgeworfen; sobald dies Spiel beginnt, ist die Luft schon bedeutend ausgedehnt, und dadurch wird sie dergestalt in ihrer Temperatur herabgestimmt, daß das Wasser, welches sie noch mit sich führt, zu wallnußgroßen Kugeln gefriert, die mit Vehemenz hinaus geschleudert werden, so daß in diesem Stadium sich den Ausgußröhren zu nähern, eigentlich recht gefährlich ist, indem die Eisstücke wie aus einer Windbüchse geschossen wirken, und da sie mitunter gar nicht klein sind, wirklich verwunden können.

Hier ist die Wirkung plötzlicher Ausdehnung, im Gegensatz der Erwärmung beim Zusammendrücken, recht deutlich zu sehen, wie diese letztere Wirkung bei dem Luftfeuerzeuge am besten einleuchtet; Luftarten sind überhaupt zu dergleichen Versuchen am geeignetsten, weil sie sich am leichtesten zusammendrücken lassen, nur muß man allerdings sehr behutsam sein, viele Gasarten explodiren beim Zusammendrücken sehr heftig. Bei festen Körpern läßt sich die Erhitzung am besten durch das Prägen nachweisen, das Stück Silber, welches ein Thaler werden soll, wird kalt in den Prägestock gesetzt und kommt nach zwei Schlägen so heiß aus demselben, daß es mit der Hand nicht angefaßt werden kann. Bei flüssigen Körpern findet allerdings auch eine Zusammendrückung, aber keine bemerkbare Erwärmung statt, die Grade der Zusammendrückung, denen Flüssigkeiten ausgesetzt werden können, sind auch so gering, daß eine Erwärmung kaum eintreten kann.

Erhitzung durch Reibung.

Höchst merkwürdig sind die Effecte der Reibung. Wenn man ein rundes Stück Holz auf der Drehbank glatt gedreht hat, so brennt man braune und schwarze Reifen lediglich dadurch darauf ein, daß man ein anderes Stück Holz von härterer Art an das erste hält, während es rasch gedreht wird; es entsteht hier eine beginnende Verkohlung und lediglich durch diese wird das Holz gebräunt und geschwärzt. Man dürfte den Versuch nach dem Braunwerden nur eine halbe Minute lang fortsetzen, so würde man das Holz in Flammen aufleuchten sehen.

Die Wilden aller Welttheile machen auf diese Weise Feuer an; sie reiben entweder einfach zwei Stücke Holz an einander oder sie machen in das eine derselben eine Rinne und reiben in dieser mit dem Hirnholz des andern Stückes hin und her oder sie machen in eines derselben eine runde Vertiefung und drehen in derselben das andere Stück wie einen Quirl hin und her, was entweder mit beiden flachen Händen oder mittelst einer an einem Stock geschlungenen Schnur geschieht.

Wo wir hinsehen tritt uns diese Erhitzung durch die Reibung in den Weg. Der Harpunierer, welcher den Wallfisch jagt, schleudert einen Speer mit Widerhaken gegen das mächtige Thier, an dessen Eisen eine Leine befestigt ist; die Leine ist auf eine große Rolle gewickelt und läuft über den Vorderbug des Schiffes dem Wallfisch nach, welcher mit einer furchtbaren Schnelligkeit in die Tiefe schießt. Die Rolle, über welche das Seil läuft, muß immerfort naß gehalten werden, sonst wird das Holz verkohlt und entzündet. Wenn man eine ganz glatte Schnur schnell durch die Hand laufen läßt, so kann man sich Blasen brennen. Wenn man sich bei Feuersgefahr aus einem Fenster hinabläßt, nicht an einem groben Seil, sondern an zusammengeknüpften Handtüchern oder Laken, so verletzt man sich die Hände mitunter so, daß große Brandblasen entstehen, was nicht geschieht, wenn man unter derselben Reibung den Weg mit Besonnenheit langsam zurücklegt. Hölzerne Wagenaxen entzünden sich beim raschen Fahren sehr leicht, ja eiserne Axen und in der Radnabe sitzende metallene Buchsen werden beim schnellen Fahren und nur irgend fehlender Schmiere dergestalt erhitzt, daß die Nabe des Rades, in welcher die Buchse sitzt, entzündet wird und der Wagen in Flammen steht.

Wie weit Erhitzung durch Reibung geht, sehen wir bei dem Feueranschlagen mittelst Stahl und Stein. Dieses längst vergessene Feuerzeug, welches jetzt in einer eleganteren Form wieder aufgewärmt, als eine neue

Erfindung auftaucht und als Luntenfeuerzeug sich in den Händen von Tausenden junger Cigarrenraucher befindet, wirkt ganz allein durch die Reibung.

Der gehärtete Stahl wird mit einer großen Raschheit und Kraft an dem Feuersteine vorbei geführt, hierdurch werden einige Stahlsplitter losgerissen, die Reibung macht dieselben aber so heiß, daß sie nicht blos glühend werden, sondern daß sie schmelzen. In dem Augenblick des Schlages sind zehn — funfzehn Stahlsplitterchen durch den Stein von dem Stahle losgerissen und sind in dem Augenblick des Schmelzens, der kein Zehntheil einer Secunde betragen kann, von 0 Grad bis auf 1400 Grad erhoben worden, denn dies ist der Schmelzpunkt der ganzen Legirung aus Eisen und Kohle, welche wir Stahl nennen.

Daß es die Reibung ist, welche diese Erhitzung bewirkt, sieht wohl Jeder ein, dies liegt zu klar auf der Hand, da gar keine andere Ursache zu einer solchen Temperaturerhöhung vorhanden ist — daß es aber der Schmelzpunkt ist, welcher erreicht und überschritten wird, läßt sich deutlich nachweisen.

Schmelzhitze durch Reibung.

Man biege einen Bogen weißen Papieres an seinen Kanten so um, daß er rundum einen erhabenen Rand bekommt und eine große, flache Kapsel bildet. Auf diesen Bogen lasse man die Funken fallen, welche man dadurch erzeugt, daß man den Stahl in die eine Hand nimmt und mit dem in der andern Hand gehaltenen Steine ein paar Dutzend Mal rasch an dem Stahle hinunter schlägt. Man wird nun mit gutem kurzsichtigem Auge eine Menge sehr feiner Pünktchen auf dem Papiere liegen sehen; wenn man diese durch Zusammenbiegen des Papieres in eine größere Nähe zu einander bringt und dann die Splitterchen durch eine gute, stark vergrößernde Loupe besieht, so wird man sehr deutlich wahrnehmen, daß man lauter Kügelchen vor sich hat, welche zum größten Theil ganz oder zur Hälfte ausgehöhlt sind, eine Form, wie sie die Reibung nicht geben kann, wie sie jedoch die Schmelzung alle Zeit giebt, was wir bei dem Schrot sehr deutlich wahrnehmen. Diese von dem Stahl losgerissenen Pünktchen erhielten also zuerst die Schmelzhitze und rundeten sich in dieser während des Fallens tropfenförmig ab.

Die ungeheuere Menge des Wärmestoffes, welche durch Reibung entwickelt wird, hat man in früheren Zeiten gar nicht erkannt, erst Rumford zu München machte darauf aufmerksam, indem er wahrnahm, daß trotz des verbrauchten Oeles oder Fettes ein Canon, welches durch Wasserkraft gebohrt wird, sich so erhitzt, daß es nicht mehr gehandhabt werden kann.

Dieser durch und durch praktische Mann hoffte die hier entwickelte Wärme nutzbar zu verwenden und umgab das Canon mit einem großen Wassergefäße. Er hatte nun jedenfalls den Vortheil das Canon sich nicht weiter als bis auf den Siedepunkt des Wassers erhitzen und den Bohrer nicht blau anlaufen und dadurch weich werden zu sehen; das Wasser gerieht dabei auf das Gewaltigste in's Kochen und es konnte durch dieses vermöge der Reibung erhitzte Wasser die ganze weitläufige Werkstatt geheizt werden, indem das heiße Wasser von oben her durch Röhren fortgeleitet, unten aber dem Gefäße stets kaltes Wasser zugeführt wurde.

Merkwürdig ist, daß diese anschaulichen Versuche nirgends Eingang fanden, nirgend weiter die Wärme zur Heizung verwendet wurde. Der Verfasser schlug bei Anlage einer Zuckerfabrik aus dem Runkelrübensafte in Ulm (Schwaben) statt der Feuerung mit dem dort sehr theueren Holze, eine Heizung durch die Reibung vor (1835), allein es ging, als auf den Vorschlag eines Projectenmachers, Niemand darauf ein und man verschwendete des Holzes sehr viel bei der neuen Anlage. Der Gedanke war es übrigens allein, der die nöthige Anleitung zur Verwerthung der Reibungswärme hätte gegeben, Versuche zur *bessern* Verwendung derselben waren durch den Verfasser eigentlich nicht gemacht worden.

Auf der großen Industrieausstellung, welche im Jahre 1855 in Paris stattfand, sah man eine förmlich eingerichtete Kochmaschine, wo metallene Gefäße auf einer Metallplatte standen, welche durch einen darin sich reibenden Kegel von geöltem Hanf dergestalt erhitzt wurde, daß die mit verschiedenen Flüssigkeiten gefüllten Gefäße sämmtlich im heftigsten Kochen waren. Die Kraft, welche hierauf verwendet wurde, kam hinsichts des erzielten Effectes kaum in Betracht, falls man die Kosten der Feuerung berechnete. Eine Hand in einem Schwungrade konnte so viel Wärme hervorbringen, daß 100 Quart eine Stunde lang damit im Kochen erhalten werden konnten. Auf Dampfmaschinen würde sich diese Heizungsmethode trefflich anwenden lassen. Es würde innerhalb des Kessels ein zuckerhutförmiges Rohr, aber so lang wie der ganze Kessel, liegen, in diesem müßte sich ein Kegel bewegen, welcher das Rohr gerade ausfüllte, irgend eine Kraft von einem Thiere oder ein paar Menschen hergenommen, allenfalls eine kleine Dampfmaschine selbst, würde die Reibung zu besorgen haben und diese Reibung würde eine Wärme erzeugen, welche jene, die durch das Feuer für die kleine Dampfmaschine hervorgebracht wird, um das Funfzigfache überbieten, so daß z. B. eine Dampfmaschine von 2 Pferdekraft eine andere von 100 Pferdekraft in Thätigkeit setzen würde.

Chemische Verbindung verschiedener Körper.

Mengung und Mischung sind zwei Methoden, ungleichartige Körper mit einander in Berührung zu bringen. In einem Falle liegen die Theile der beiden Körper (oder der drei, der zehn) neben einander, ohne sich gegenseitig zu fassen, zu stören, zu verändern; mengt man auf das Sorgfältigste Rübsamen mit dem Samen des Hederich, oder Leinsamen mit dem unter dem Namen „Spitzsaat" bekannten Canarienfutter, so wird das bloße Auge die verschiedenen Körner neben einander sehr deutlich wahrnehmen; mengt man zwei trockene Farbestoffe in Pulverform, Zinnober und Bleiweis mit einander, so wird man ein scheinbar gleichartiges Gemenge von hellrother Farbe erhalten, aber schon eine gute Loupe zeigt die Zusammensetzung, ja ein Pastellgemälde, auf welchem die in einander übergehenden Farben auf das Schönste vertrieben erscheinen, hält die Prüfung mit einem zusammengesetzten Mikroskop nicht aus, man sieht die gelben und rothen Punkte neben einander liegen im Orange und die gelben und blauen im Grün ꝛc.

Wenn man zwei Luftarten, wie Stickstoff und Sauerstoff, welche in ihrem gewöhnlichen Zustande keine Verwandtschaft zu einander haben, mengt, so findet wahrscheinlich dasselbe statt, obwohl bei den unsichtbaren Theilen der Luftarten dies Nebeneinandersein für das Auge nicht nachzuweisen ist; bei Flüssigkeiten, wie Oel und Wasser, läßt sich dies schon eher thun; selbst wenn aus denselben mit größter Sorgfalt eine Emulsion bereitet wird, erkennt man die gesondert neben einander liegenden Kügelchen der verschiedenen Flüssigkeiten.

Alle diese Vorgänge nennt man Mengungen, bei ihnen ist von Veränderung der beiden Körper keine Rede, sie bleiben nach wie vor, was sie waren, es findet auch keine Temperaturveränderung statt, es sei denn bei trockenen Körpern durch Reibung, diese kann natürlich hier nicht mehr in Betracht gezogen werden.

Ganz anders verhält es sich mit Körpern, die sich chemisch ergreifen. Gießt man Schwefelsäure in Wasser, so verbinden beide sich zu einem neuen Körper, beide werden dichter als sie früher waren — ein Maaß Wasser und ein Maaß englische Schwefelsäure geben keineswegs zwei Maaß verdünnte Schwefelsäure, sondern weniger.

Bei dieser Verbindung zweier Körper zu einem dritten, welcher die Eigenschaften der früher einzeln bestandenen Körper nicht mehr hat, findet eine höchst bedeutende Erwärmung statt. Hat man eine Flasche halb mit englischer Schwefelsäure gefüllt und gießt nun langsam Wasser darauf, so

erhitzt sich die Berührungsschicht der beiden Flüssigkeiten dergestalt, daß genau an dieser Stelle die Flasche quer durchschnitten wird, als wäre sie durch einen Diamant getheilt. Der Versuch muß übrigens mit großer Vorsicht und ja nicht mit Nordhäuser Schwefelsäure angestellt werden; in diesem letzteren Falle entsteht nicht eine Erhitzung sondern eine furchtbare Explosion, welche um so zerstörender wird, als die umher geschleuderte concentrirte Schwefelsäure alle thierischen und Pflanzensubstanzen verbrennt, alle Metalle oxydirt, zerstört.

Verdichtung.

Viele Erscheinungen der Art lassen sich auf das Verdichten zurückführen, andere allerdings nicht. Zu den ersteren gehört das Erhitzen von pulverigen Substanzen aus dem Pflanzenreiche, Kohle, Mehl, Kleie, Asche, durch Zutritt von Feuchtigkeit. Hier wird das in Dampfform dargebotene Wasser in einen engen Raum zusammengepreßt, daher die Erwärmung, welche bis zur Erhitzung und selbst Entzündung gehen kann.

Wenn man sehr feine Eisenfeile, wie die Schweizer Uhrmacher dieselbe verkäuflich haben und wie man sie auch in den Apotheken findet, in einem Klumpen auf einem Blechstreifen so erhitzt, daß sie glühend wird, so entsteht eine Oxydschicht auf der Oberfläche des Häufchens. Wenn man nun die Feilspäne erkalten läßt, darauf sie aber etwas aus einander breitet, so erhitzen sie sich durch Aufnahme des Sauerstoffes aus der Luft dergestalt, daß sie von Neuem in's Glühen kommen; läßt man sie abermals erkalten und breitet man das halb zerstörte Häufchen ganz aus, so entsteht das Erglühen nochmals.

Diese, bis auf einen so hohen Grad gehende Erhitzung rührt lediglich von der Verdichtung des Sauerstoffs der Luft her, der das zur Aufnahme desselben vorbereitete Eisen nun erfaßt und in einen viel tausend Mal kleineren Raum bringt, als derjenige war, den es früher einnahm; man hat hiervon ein Argument für die Ansicht, daß die Planeten ursprünglich glühend gewesen sein müßten, hergenommen, denn man sagt mit Recht: wenn die Weltkörper in ihrer früheſten Zeit gasförmig (oder noch viel dünner ätherförmig) waren und sich durch Anziehung der Theile gegen einander ballten, so mußten, je dichter sie wurden, desto höher ihre Erwärmung, lediglich in Folge der Verdichtung, steigen und daher bei einer tausendmaligen Verringerung des Raumes eine Erhitzung entstehen, welche wohl bis zur Gluth gehen konnte.

Diese Angaben sind nur annähernd, nur sehr entfernt richtig, aber sie

kommen noch täglich vor. Der Sauerstoff in der Atmosphäre ist 800 Mal leichter als Wasser, dieses ist 5 Mal schwerer als Magneteisenstein; in diesem befindet sich also der Sauerstoff auf eine viertausendmalige Verdichtung herunter gebracht. Wenn man aber bedenkt, daß die Weltkörper nicht aus Weltdunst oder Dampf entstanden sind, welcher 800 Mal dünner als Wasser war, sondern welcher Millionen Mal mehr ausgedehnt gewesen, so kann man sich denken, welch eine furchtbar hohe Temperatur eine Compression auf Billiontheile des Raumes mit sich geführt hat.

Diese Erhitzung durch eine nicht mechanisch, sondern durch Chemismus herbeigeführte Weise, steht nicht vereinzelt da; ein ganz gleicher Fall liegt im Löschen des Kalkes vor — dieser hat sein Krystallwasser durch das Glühen verloren, begierig nimmt er demnach es aus der Luft auf und zerfällt damit unter starker Erwärmung zu Pulver. Wenn man demselben jedoch die Feuchtigkeit in größerer Menge zuführt und man auf den geglüht gewesenen Kalk (gebrannter Kalk) Wasser gießt, so entsteht eine Erhitzung, welche mehrere Hundert Grade beträgt, nur gewöhnlich nicht so weit geht, weil man zu viel Wasser braucht, da dann dieses in lebhaftes Kochen kommt und dadurch eine große Masse Verdampfungswärme entführt wird; wenn man jedoch das Experiment mit solcher Vorsicht macht, daß nur sehr wenig Wasser, fein zertheilt, auf den Kalk kommt, so erhitzt er sich dergestalt, daß er Schießpulver entzündet, Holz verkohlt, daher es gefährlich ist, ungelöschten Kalk in der Nähe von Scheunen, etwa in den schlechten Tonnen aufzubewahren, in denen er gewöhnlich im Handel vorkommt. Wenn solchen Kalk ein feiner Regen trifft, so entzündet er zuerst die Tonne, dann die Scheune und kein Mensch weis, auf welche Art das Unglück geschehen.

Auch wenn man frisch gebrannte Magnesia mit Wasser in Berührung bringt, entsteht eine solche Verdichtung derselben, daß eine, wenn schon nicht ganz so weit wie beim Kalk gehende Erhitzung die Folge davon ist.

Ein höchst auffallendes Experiment ganz ähnlicher Art, wiewohl mit mehreren Flüssigkeiten, ohne Dazwischenkunft eines festen Körpers, kann folgender Art gemacht werden.

Wenn man eine kleine Quantität concentrirte Schwefelsäure mit concentrirter Salpetersäure mischt (am besten, wenn beide rauchend sind) und dieses Gemisch in eine flache Schaale mit Terpentinspiritus gießt, so wird der letzte, ein flüchtig ätherisches Oel, sofort zu Harz verdichtet. Diese Verdichtung ist mit einer so starken Wärmeentwickelung verbunden, daß im Augenblick der Berührung dieser verschiedenen Substanzen der Terpentin in hellen, lebhaften Flammen ausbricht. Das Experiment ist mit guten Materialien *ausgeführt ganz gefahrlos*, nur darf es des Qualmes und schwarzen

Rauches wegen nicht im Zimmer angestellt werden, dessen Decke und Wände sofort mit einer Rußschicht überzogen sein würden; hat man jedoch nicht hinlänglich starke Säuren, so erfolgt die Entzündung nicht sicher und dann werden durch das Kochen und Blasenwerfen der Mischung die Säuren weit umher geschleudert und können großen Schaden thun.

Verbrennen.

Hier sind Beispiele angeführt, in denen große Erhitzung und schließlich wirkliches Verbrennen statt fand, ohne daß man eine Flamme zu dem verbrennenden Körper brachte, und so sieht man wohl, daß auch das uns geläufige Brennen gewöhnlicher brennbarer Körper: Holz, Oel ꝛc. hierher gehört. Es ist auch dies nichts weiter als eine chemische Verbindung ungleichartiger Substanzen zu einem neuen, dritten Körper, welcher von den beiden ersteren sehr verschieden ist, oder es ist ein Austreiben brennbarer Gasarten aus ihrem Verschluß in Holzzellen u. dergl., so daß davon ein Rückstand bleibt, welcher die Zellensubstanz (Kohle) und einige der Bindemittel (Asche) bietet, indessen nur die entwichenen Gase neue Verbindungen eingegangen, die anderen Körper aber aus ihren Verbindungen befreit sind.

Die Beobachtung hat gelehrt, daß verschiedene Körper aus allen drei Naturreichen bei ihrer Verbindung eine solche Wärme entwickeln, daß dadurch eine wirkliche Verbrennung entsteht, nicht das, was mit Recht der Chemiker so nennt, dem jede Verbindung mit dem Sauerstoff, jede Oxydation eine Verbrennung ist, sondern das, was auch der Laie so nennt, ein Aufgehen in Flammen.

Eine sehr auffallende Erscheinung dieser Art bietet uns das Verbinden von Eisenfeilspänen mit Schwefelblumen, auf welche man in früheren Zeiten die Erklärung der vulcanischen Erscheinungen gründete. Wird von oben gedachten Körpern eine hinlängliche Quantität gemengt und, etwa in einem Sack verschlossen (um das Zerstreuen zu verhindern), in feuchter Erde vergraben, so gerathen dieselben nach einigen Tagen in Entzündung, werfen die Erde auf und geben Erscheinungen von Rauch, Dampf, Flammen, in denen Lemery (zu Rouen in der Mitte des 17. Jahrhunderts geboren, zuerst Apotheker, dann Arzt, dann Professor der Chemie und besoldetes Mitglied der Akademie) einen Vulcan im Kleinen sah und selbst in etwas größerem Maaßstabe als gewöhnlich ausführte.

Wenn man, um reines, gänzlich unverfälschtes Quecksilber zu erhalten, dasselbe aus Zinnober dadurch reducirt, daß man ihn mit Eisenfeilspänen erhitzt, so verbindet sich der Schwefel aus Wahlverwandtschaft mit Eisen

und es entsteht eine Entzündung mit einer Explosion verbunden, welche leicht gefährlich werden kann.

Wenn man Krystalle an salpetersauerem Kupfer zerkleinert und diese in ein Blättchen Staniol wickelt und rasch, doch gar nicht bedeutend stark zusammendrückt, so entsteht alsbald eine Erhitzung, welche so weit geht, daß sich das Staniol sofort entzündet und als Flamme verbrennt. Daß dünne Kupferblätter, in Schwefelgas getaucht, sofort erglühen und dann mit Flamme verbrennen, ist bereits bemerkt worden und es ließe sich die Zahl der Beispiele von unter lebhafter Hitze vor sich gehenden Verbindungen anorganischer Körper bedeutend vermehren, die angeführten jedoch genügen und wir können noch ein paar Beispiele ähnlicher Art von organischen Körpern geben.

Selbstzünder.

Zum Anstreichen der Kriegsschiffe bedient man sich in Rußland einer Verreibung von Kienruß mit Hanföl, welche eine dicke Masse bildet und beim Streichen verdünnt werden muß, indem man Theer in genügender Menge dazu setzt. Die verdickte schwarze Farbe wird in den russischen Arsenalen in großen Ballen, in Bastmatten eingewickelt, bewahrt und auf jedem Schiffe befindet sich ein mäßiger Vorrath davon. Diese Verbindung ist höchst feuergefährlich, denn sobald sie nur eine Temperatur äußerlich von 15 Grad erhält, dringt die Erhitzung in das Innere, steigert sich bis zur Selbstentzündung und bedeutende Feuersbrünste sind dadurch auf russischen Werften und bei Reisen auf russischen Schiffen entstanden, bis man die Ursache entdeckte. Jetzt wird die Masse nicht mehr so trocken gemacht, dann läßt sie sich gefahrlos (allerdings aber nicht in Matten, sondern in Fässern) aufbewahren.

Die als Kaffee-Surrogat dienenden gebrannten Cichorienwurzeln dürfen nicht in großen Massen aufgehäuft werden. Die Verbrennung des Düngers in sich, wiewohl ohne Flamme, ist eine sehr allgemein bekannte Thatsache, eben so die, das nicht ganz trocken eingebrachte Heu, vorzüglich von zweiter Schur (weil bei dem Grument viel weniger Halme sind, also keine so lockere Schichtung als beim eigentlichen Heu möglich ist), sich in einigen Tagen so stark erhitzen zu sehen, daß die hellen Flammen daraus hervorbrechen. Aus Unvorsichtigkeit in dieser Hinsicht ist mancher Bauernhof eingeäschert worden.

In Königsberg ist es verschiedene Male vorgekommen, daß sich das Moos und Stroh, worauf Oelfässer gelegen hatten und welches nun beseitigt und in einen Winkel gekehrt worden war, selbst entzündete. Es hat dies

alles seinen Grund in der begierigen Aufnahme des Sauerstoffs der Luft durch kohlenstoffhaltige Substanzen. Die Kohle selbst verdichtet Gasarten in solcher Menge, daß sich ihr Gewicht auf das Doppelte von dem vermehrt, was sie selbst hat. Geschieht diese Aufnahme sehr langsam, so ist sie allerdings nicht von Feuererscheinungen begleitet, unterstützt man aber eine solche Aufnahme dadurch, daß man die Kohle fein pulverisirt und noch warm in Fässer packt, wie man es unvorsichtiger Weise zur Fabrikation des Schießpulvers häufig thut, weil man durch die warme Verpackung das Feuchtwerden zu verhindern hofft, so ist die Gefahr einer Selbstentzündung stets vorhanden und die vielen Unglücksfälle bei Pulvermühlen stammen zum größten Theil aus dieser Quelle.

Künstlich und absichtlich kann man diese Klasse von Körpern, welche man die der Selbstzünder nennen könnte, sich bereiten, wenn man Substanzen, welche Sauerstoff mit großer Lebhaftigkeit aufnehmen, so vereinigt, daß sie ihre Kräfte gemeinschaftlich wirken lassen. Eine einfache Substanz der Art ist die Kohle, eine andere das Kaliummetall, welches bekanntlich eine so lebhafte Verwandtschaft zum Sauerstoff hat, daß es an der Luft sogleich oxydirt, im Wasser unter Feuererscheinung und Explosion zu Kali wird und nur unter Steinöl aufbewahrt werden kann.

Homberg's Pyrophor.

Einen solchen Selbstzünder oder Pyrophor bereitet man nach Homberg's Angabe auf folgende Art:

Man erhitzt Alaunkrystalle auf einer Ofenschaufel so lange, bis sie alles Krystallisationswasser verloren haben und ein feines, unrein weißes Pulver bilden. Hierzu setzt man eine gleiche Menge Kienruß und gereinigte Pottasche, mengt alles wohl durcheinander und füllt dieses schwarze Pulver in eine Medicinflasche, zu welcher man sich außer einem gut und recht genau passenden Korkstöpsel auch noch einen Kreidestöpsel besorgt.

Ein Schmelztiegel, welcher das Glas bequem zu fassen vermag, wird am Boden mit trockenem Sande bestreut, auf dieses wird das Glas gesetzt und dieses nun innerhalb des Schmelztiegels mit trockenem Sande umschüttet; dann bringt man den Schmelztiegel sammt seinem Inhalt in einen gut ziehenden Ofen und setzt (nach langsamer Erwärmung bis zum lebhaftesten Glühen des Tiegels und des Sandes darin ꝛc.), dieses Glühen so lange fort, bis die Pottasche sich zersetzt hat; dies kündigt sich dadurch an, daß an der Mündung der Flasche ein etwa zollhohes bläuliches Flämmchen erscheint, welches sich zwar ausblasen läßt, sich aber sofort wieder mit einem leichten

Puffe entzündet. Wenn dies etwa zwei bis drei Minuten gedauert hat, entfernt man die Kohlen und verschließt das Glas mit dem bereit gehaltenen Kreidestöpsel.

So bald der Tiegel nicht mehr glüht, setzt man ihn auf einen Stein und wartet den Zeitpunkt ab, bis sich das Glas so weit verkühlt hat, daß man es mit einem Korkstöpsel verschließen kann, auf das noch warme Glas läßt man in der Gegend, wo sich der Stöpsel ansetzt, einige Tropfen Wachs fallen und überzieht schließlich den ganzen Kork und die Mündung der Flasche damit, nunmehr läßt sich das Präparat ein Jahr und darüber bewahren, ohne die Eigenschaft, wegen deren man es bereitete, die Zündkraft, zu verlieren. Wenn man den Stöpsel öffnet und etwas von dem Pulver ausstreut, so entzündet dasselbe sich und das Papier oder das Brett, worauf es fällt, ja wenn der Pyrophor recht gut war, so entzündet er bereits im Fallen durch die Luft sich selbst und es fällt nur noch Asche zu Boden. Welche Rolle der Alaun hier spielt, wenn er nicht etwa die Masse auflockern soll, ist nicht recht klar, die Kohle aber, gemischt mit den fein zertheilten, zwischen die Kohle gemengten Kalium-Metall, welches aus der Pottasche durch das Glühen mit Kohle reducirt worden war, ist dasjenige, was die Entzündung durch Verdichtung des Sauerstoffes herbeiführt.

Solche Selbstzünder können auf mancherlei Weise gemacht werden, von größerem Interesse aber als eine Beschreibung mehrerer solcher Präparate dürfte eine Mittheilung über die Selbstentzündung des menschlichen Körpers sein. Es giebt nämlich zwar nicht viele, aber doch eine nicht unbeträchtliche Anzahl von medicinisch und gerichtlich festgesetzten Fällen, in denen der menschliche Körper auf eine bis jetzt noch nicht erklärte Weise in Flammen gerathen und ganz oder zum größten Theile verzehrt worden ist. Die Beobachtung von dergleichen ist so wenig neu, daß schon der alte Galenus davon spricht, daß ferner zu Zeiten des Grachus ein Stier auf solche Weise verbrannt sein soll, welches damit begann, daß demselben plötzlich eine schwache, sehr übel riechende Flamme aus dem weit geöffneten Rachen brannte.

Selbstverbrennung.

Der erste Fall in neuerer Zeit, welcher großes Aufsehen erregte, war derjenige, welcher sich zu Cesena, einer Stadt in der Delegation Ravenna im Kirchenstaat, im Jahre 1740 zutrug. Eine Gräfin Cornelia Zangari ward eines Morgens in ihrem Zimmer, unweit ihres Bettes, am Boden liegend, in ein Häuflein Asche verwandelt gefunden, wie die Leute

sagten. Die gerichtliche Ermittelung lief darauf hinaus, daß ein verstümmelter Kopf, angebrannte Arme und Beine in der Nähe eines unförmlichen Klumpens thierischer Kohle, Asche und sehr übelriechender animalischer Verbrennungsproducte lagen.

Da die Gräfin bejahrt, sehr corpulent und dem Genuß des Maraschino von Zara sehr ergeben war, so sagte die gerichtliche Todtenschau, sie sei in Folge zu häufigen Genusses spirituöser Substanzen der Selbstentzündung anheim gefallen und verbrannt. Merkwürdig erschien dabei, daß im Zimmer sonst nichts verbrannt war.

Ein andrer Fall war der mit dem italienischen Priester Maria Bertholi, welcher plötzlich unter heftigem Geschrei zu Boden fiel, wobei sein Hauswirth, welcher in diesem Augenblick im Zimmer war, von seinem Körper an verschiedenen Stellen bleiche bläuliche Flammen aufsteigen sah. Nach wenigen Stunden starb dieser Mann im heftigsten Delirium und unter gräßlichen Qualen und gerieth in wenigen Stunden in einen Grad von Verwesung, welche seinen Körper im eigentlichsten Sinne zerfallen machte. Der Mann war aber weder corpulent noch ein Verehrer des berühmtesten Products der Hauptstadt von Dalmatien.

Solche Flammen (wenn der Herr Wirth dieselben wirklich gesehen hat), die den Tod und ein Schwarzwerden der angegriffenen Glieder nach sich zogen, in einigen Fällen blos Begleiter einer späterhin geheilten Krankheit waren, sind zwar nur selten, aber doch oft genug beobachtet worden (sagt Munke), um die Wahrheit der Sache zu begründen. Dies vorausgesetzt, haben Einige geglaubt, die beschriebene Zerstörung des menschlichen Körpers sei unmittelbare Folge des unmäßigen Genusses geistiger Getränke, durch gesteigerte Lebenswärme sei der Spiritus entzündet worden und der Brand habe sich dann weiter verbreitet. Allein man hat die Flammen an den Händen, den Schultern gesehen, wohin sie auf diese Weise nicht gelangen konnten. Angemessener erscheint demnach die Hypothese Derer, welche meinen, durch einen schon im Leben eintretenden Zersetzungsprozeß werde etwas von dem im menschlichen Körper vorhandenen Phosphor frei, verbinde sich mit dem stets vorhandenen, in diesem Zustande aber sich besonders stark entwickelnden Wasserstoff — dieses Gas entzünde sich beim Zutritt des Sauerstoffs der atmosphärischen Luft und bedinge die Verbrennung und mit der ohnehin beginnenden und schnell gesteigerten Zersetzung die rasch vor sich gehende Auflösung des Körpers. Eine gewichtige Unterstützung gewinnt nach Munke's Annahme diese Ansicht dadurch, daß Personen, welche viel geistige, namentlich destillirte Getränke zu sich nehmen, sehr stark nach *Phosphor riechen.*

Was man bis zu jener Zeit von der Sache wußte oder zu wiſſen vorgab, läuft darauf hinaus, daß niemals ein Zeuge bei der ſogenannten Selbſtverbrennung war, man ſich aber doch wie durch den Mund von Augenzeugen erzählt, der Körper eines ſolchen Unglücklichen ſei bis auf die Extremitäten verbrannt, Gegenſtände verbrennlicher Natur aber, die ſich oft in großer Nähe des verbrannten Körpers befunden, ſeien von den Flammen nicht mit ergriffen worden.

Zuweilen ſoll ſich die Luft in den Athmungs- und Schlingorganen entzündet haben, es ſoll eine Flamme aus dem Munde gefahren ſein, welche den Erſtickungstod zur Folge hatte. Nur bejahrte, ein unthätiges Leben führende, dem Trunk ergebene Perſonen ſollen der Verbrennung unterliegen; ein Feuer war immer in der Nähe des Verunglückten (Selbſtentzündung im eigentlichen Sinne des Wortes iſt es alſo nicht), ſollte es auch nur ein Licht oder eine Lampe geweſen ſein. Die Verbrennung erfolgte im Laufe einiger Stunden, die erzeugte Flamme war leicht beweglich, beſchädigte andere Gegenſtände nur, wenn ſie ganz nahe in unmittelbarer Berührung mit dem entzündeten Körper waren. Der Raum, in welchem die Verbrennung vor ſich gegangen, war mit einem durchdringenden empyreumatiſchen Geruch erfüllt, die gebildete Aſche und die thieriſche Kohle war mit einer ſchmierigen fettartigen Feuchtigkeit von entſetzlichem Geruch bedeckt, der Rumpf war gewöhnlich ganz verzehrt, der Kopf und die anderen Extremitäten blieben gewöhnlich übrig. So ſagt Kopp in ſeiner ſehr ausführlichen Unterſuchung über die Selbſtverbrennung.

Widerlegung der Anſicht.

Merkwürdig iſt bei Alledem, daß man niemals einen Menſchen findet, der die Selbſtverbrennung eines andern Menſchen mit angeſehen hat. Der Verfaſſer hegte aus dieſen Urſachen einen beſcheidenen Zweifel gegen die Lehre von der Selbſtentzündung, er hat auch in ſeinen jungen Jahren ein Beiſpiel eines Todesfalles erlebt, welches zur Verbrennung die beſte Gelegenheit gegeben hatte und doch nicht derartiges geſehen.

Der Vorfall war dieſer:

In Berlin befand ſich unfern des Königſtädtiſchen Theaters ein Kaffeehaus, welches von den Theatergängern häufig des Abendeſſens wegen aufgeſucht wurde. Daſſelbe theilte ſich in einige Unterabtheilungen. An dem einen Ende der Lokalität war eine Schänke, an welcher Getränke aller Art zum Genuſſe außer dem Hauſe verkauft wurden, dann kam ein großer Raum für die Billardſpieler und Zuſchauer, und hieran ſchloſſen ſich die

Zimmer für die Raucher und Speisegäste, alle Thüren waren jedoch ausgehoben, so daß die ganze Doppelreihe von Zimmern zu übersehen war, und man wohl hören konnte, wenn irgend wo etwas besonders Geräuschvolles vor sich ging.

Etwas Derartiges rief auch den Verfasser nebst allen übrigen Gästen von seinem Mahl zum Schenkzimmer. Da lag ein Mensch am Boden, unter den fürchterlichsten Krämpfen und unter Gebrüll: „ich verbrenne, ich verbrenne" seinen Geist aushauchend.

Es war ein Tagelöhner, ein Säufer, berüchtigt wegen der großen Quantitäten Branntweins, welche er trinken konnte, ohne daß sie ihn berauscht machten. Derselbe hatte oft gewettet, ein Quart gewöhnlichen Branntweins hinter einander stehenden Fußes zu trinken. Er war einem bei der Schenke anwesenden Manne bekannt, der diesen Mißbrauch seines Körpers den Gästen erzählte. Der Cafetier Müller sagte lachend: „nun das muß schönes Zeug sein, von meinem Schnaps trinkt er kein Quart." Dies verletzte das point d'honneur des Säufers und er bot eine Wette an; Müller wollte nicht wetten, einige Andere schlossen eine solche Wette um zwei Thaler, welche von dem Verlierenden der Tagelöhner erhalten sollte, falls er das Quart Branntwein wirklich vertilgte. Der Mann that, was er versprochen, er trank das Quart aus; es war jedoch nicht Branntwein, sondern Spiritus und dieser lähmte seine Magennerven, indem er das Wasser der Magenwände an sich raffte; der Mann stürzte zu Boden und dies war es, was nebst dem Geschrei des Unglücklichen die übrigen Gäste herbeigezogen.

Es war Abend, der Mensch stieß furchtbar riechende [illegible] von sich, Lichter standen neben ihm an der Erde; er starb an einem [illegible] Verbrennen in Gegenwart des Verfassers, doch nicht an einem [illegible], es kam ihm keine Flamme aus dem Halse, es brannte kein [illegible] nur an, das Verbrennen seines Innern war auch nur insofern [illegible], als Spiritus brennt, das Gefühl des Brennens verursacht, wenn er innerliche Theile, Mund, Speiseröhre, Magen berührt, aber keineswegs ein solches, das seinen Körper verzehrte.

Dies gab schon damals dem Verfasser Anlaß, die Selbstverbrennung im [illegible] Sinne sehr zu bezweifeln und [illegible] [illegible] [illegible] im Jahre 1844 die Möglichkeit der Selbstverbrennung [illegible] [illegible] [illegible] [illegible]. Dennoch kam man [illegible] der Meinung, daß [illegible] [illegible] keineswegs [illegible] [illegible] [illegible] der [illegible] Gräfin Görlitz [illegible] der [illegible] und [illegible] [illegible] [illegible] die Mitschuld [illegible] [illegible]. Die Dame war am 13. Juni 1847 in ihrem verschlossenen Zimmer

todt gefunden worden, unter Umständen, welche gestatteten, an eine Selbstverbrennung zu denken. Es wurden sogleich ausgezeichnete Gelehrte, wie Bischoff und Liebig, darüber ausführlich vernommen, beide erklärten sich jedoch gegen die Annahme einer Selbstverbrennung, obschon der Stabsarzt v. Siebold für diese Ansicht eintrat.

Was nun die neueste Zeit schließlich hierüber gebracht hat, ist Folgendes: der eigentliche Hergang bei der Verbrennung (die Verbindung des Sauerstoffs mit dem verbrennenden Körper ꝛc.) ist erst seit Lavoisier bekannt und H. Davy hat erst die Bedingungen des Verbrennens ermittelt, sie passen zu den Erzählungen von Selbstentzündung und Verbrennung gar nicht. Die medicinischen Annalen zählen im Ganzen 48 Fälle auf, in denen eine Verbrennung des menschlichen Körpers stattgehabt haben soll; fast alle diese Fälle ereigneten sich im Winter, an Betrunkenen und in Ländern, in denen mit offenem, mit Kaminfeuer geheizt wird, in England, Holland, Frankreich und Italien, dagegen in Deutschland und Rußland, wo man mit Oefen heizt, sind solche sogenannte Selbstverbrennungen nur zweimal unter den 48 vorgekommen und bei diesen ist zwar kein Augenzeuge zu ermitteln, wohl aber festzustellen gewesen, daß Brennmaterial vorhanden war. Man weiß in der Regel nicht, wie viel Zeit verstrichen ist von da, wo man den Verunglückten zuletzt gesehen, bis dahin, wo man seinen Leichnam aufgefunden.

Gewichtigste Gegengründe.

Gleich wie in der Bauchhöhle todter Thiere sich brennbares Gas entwickelt, glaubte man für die Selbstverbrennung von Menschen etwas Aehnliches, eine Gasentwickelung annehmen zu müssen, welche entweder von selbst durch Berührung mit der Atmosphäre (wie das oben angeführte Phosphorwasserstoffgas) oder durch Annäherung von Licht entzündet werde. In lebenden Körpern hat man solche Gasentwickelung noch niemals beobachtet (wenn die Krankheit, welche man Trommelsucht nennt und welche in einer sehr beschwerlichen, häufig oder sogar meistentheils den Tod nach sich ziehenden Gasentwickelung in den Gedärmen sowohl als in der Bauchhöhle, nicht hierher gehört?), in todten Körpern findet sie allerdings statt und nach Oeffnung der Bauchhöhle läßt sich das darin enthaltene Gas auch anzünden, allein es verbrennt den Körper nicht mit, ja es trocknet die nassen Häute und die durchschnittenen Fleischtheile nicht einmal oberflächlich; der Phosphorwasserstoff, welcher sich allerdings durch den bloßen Zutritt der Luft, ohne Annäherung einer Flamme entzündet, wird weder in lebenden noch in todten

Thieren, weder bei gesunden noch bei kranken Menschen gefunden, ja Liebig erklärt es sogar für unmöglich, daß solches Gas sich im thierischen Körper bilde. Was so am gewöhnlichsten als Ursache der Selbstverbrennung angenommen wird, starke Fettbildung und ungewöhnlich häufiger Genuß von geistigen Getränken muß geradezu als unhaltbar verworfen werden. Noch Niemand hat wohl den reichhaltigsten Speck eines Schweines brennen gesehen, selbst wenn ein Stück davon ins Feuer geworfen wird, schweelt es, verbreitet einen sehr üblen Geruch und verdampft, der Dampf entzündet sich dann, aber der Speck selbst (vorausgesetzt daß er nicht geräuchert war) brennt nicht ohne ein sehr energisches Feuer, weil es viel zu viel Wasser enthält, wie alle Theile eines lebenden Thieres. Die Spuren eines Verbrechens, eines Mordes durch das Feuer zu vertilgen, ist eben dieser wässerigen Beschaffenheit des Körpers wegen so schwer, denn selbst Horn und Knochen, noch die festesten und am leichtesten verbrennlichen Theile des Thieres enthalten im frischen Zustande noch 75 pCt. Flüssigkeit und die Tränkung des Körpers mit Alkohol ist reiner Unsinn. Der Branntwein, welchen Tagelöhner trinken, brennt nur, wenn er stark erhitzt wird, denn er hat nicht über 30 pCt. Alkohol; der Liqueur, den Damen mitunter gern trinken, besonders wenn sie ein gewisses Alter überschritten haben, enthält, wenn auch etwas mehr Alkohol, doch so viel Fruchtsäfte, Wasser und Zucker, daß auch er eben so wenig verbrennlich ist als Branntwein. An ein Durchdringen des Körpers mit dem Alkohol, welcher im Körper von dem Liqueur abdestillirt ist, zu denken, kann nur Jemandem einfallen, der nicht die mindeste Kenntniß von der Ernährung des menschlichen Körpers hat. Dies läuft der Ansicht parallel, nach welcher der Rausch dadurch entsteht, daß der Weingeist dem Trinker in das Gehirn steigt. Für diesen Fall hatte allerdings Herr von Münchhausen das rechte Mittel gefunden: ihm war bekanntlich der ganze obere Theil des Hirnkastens glatt abgehauen worden, er trug daher einen silbernen Hirnschädel, künstlich mit einer Tour bedeckt. Wenn er, der ein großer Freund guten Weines war, nun merkte, daß derselbe ihm zu Kopfe stieg, so lüftete er den Deckel ein wenig, ließ den Weingeist entweichen und war hiermit wieder völlig nüchtern und im Stande, neue Quantitäten zu consumiren.

Auf solche Weise wird der thierische Körper nicht ernährt, auf solche Weise bildet sich Blut und Fleisch nicht, dies Alles kann also nicht Ursache der Selbstverbrennung sein.

Die arme unschuldige Elektricität, auf welche man gern Alles laden möchte, hat auch hierbei herhalten müssen und man hat gefragt, ob denn dadurch keine solche Zündung und Verbrennung möglich sei. Nun ist es

allerdings erwiesen, daß Thiere und Menschen Elektricität entwickeln, unter Umständen können sie auch kleine Fünkchen geben, wie die Katzen, allein der größte Funke der größten Elektrisirmaschine hat weder den Rock noch das Hemde eines Experimentators angezündet oder nur angesengt, wie viel weniger einen Körper entflammt, der so schwer brennt wie der thierische, oder der vielmehr gar nicht brennt, sondern nur zerstört werden kann durch das Feuer.

Aus Allem geht hervor, daß Selbstverbrennungen nicht möglich sind in dem Sinne, in welchem wir davon gesprochen und da die Thatsachen an sich vorliegen, so muß angenommen werden, die Verbrennungen seien durch äußere Veranlassung entstanden, vielleicht liegen den meisten Fällen Verbrechen zum Grunde, welche durch die Verbrennung des Körpers des Ermordeten verdeckt werden sollten, wozu denn der Aberglaube der Leute recht willig die Hand bot.

Kann man sich darüber wundern, daß ungebildete Leute solche Mährchen glauben, wenn noch im Jahre 1852 ein großherzoglich hessischer Staatsarzt ein solches Gutachten, wie das gedachte, bei der Ermordung der Gräfin Görlitz abgeben konnte? Die Dame war allerdings durch Feuer furchtbar beschädigt und entstellt, aber man fand die Holzkohlen neben ihr aufgehäuft und zerstreut, man fand die verschiedenen Stellen, an denen die Entzündung versucht worden war, fand die Beschädigungen an Möbeln ꝛc. und doch kam man vorläufig nicht auf einen Mord, bis die Stimme des Publikums ein falsches Opfer bezeichnete, da dann endlich eine Untersuchung durch dieses selbst beantragt, eingeleitet und nun der Mörder entdeckt wurde, der denn doch nach Jahre langem beharrlichen Leugnen und erst, nachdem er bereits zu lebenslänglicher Zuchthausstrafe abgeführt worden war, ein umfassendes Bekenntniß über seinen unter den entsetzlichsten Umständen verübten Raubmord und über den Versuch, den Körper durch Feuer zu zerstören, damit man an Selbstverbrennung denken solle, ablegte.

Somit wäre dieser Gegenstand, welcher Jahrhunderte lang in den Köpfen selbst aufgeklärter und gelehrter Leute spukte, abgethan, und wir wollen ihn nicht ferner unter die Ursachen der Wärme zählen.

Chemische Mischungen.

Andere chemische Mischungen und Entmischungen bleiben uns aber noch zu betrachten.

Es ist eine merkwürdige Eigenschaft verschiedener Substanzen, welche verbrennlich sind oder Verbrennung zu unterhalten vermögen, sich durch

Mischung mit einander in diesen Eigenschaften zu unterstützen und sie gewissermaßen zu erhöhen. Phosphor und Schwefel sind brennbar, beide mit einander verbunden sind es in einem viel höheren Grade, als wenn sie vereinzelt stehen, Salpeter ist brennbar und vermag auch wegen seines großen Sauerstoffgehaltes die Verbrennung anderer Körper zu unterhalten, Schwefel und Kohle sind mäßig brennbar, es gehört schon eine bedeutende, bei einem und dem andern eine anhaltende Erhitzung dazu, um sie zu entzünden.

Mit einander gemengt, genügt der Funke eines geschlagenen Feuerstahles, ja genügt der Funke einer Leidner Flasche, welcher kaum den zehnmillionsten Theil einer Secunde dauert, dies Gemenge, was man Schießpulver nennt, zu entzünden, und indeß die einzelnen Theile nur eben brennbar sind, ist die Mengung eine höchst gefährliche explodirende Substanz.

Wasserstoff ist brennbar, doch nur an seiner Oberfläche, wo er mit der Luft in Verbindung tritt. Hat man einen langen Cylinder mit Wasserstoffgas gefüllt, mit der Mündung nach unten gerichtet und bringt man ein Wachslichtchen, auf einen langen Draht gesteckt, hinein, so entzündet sich das Gas an der Mündung des Cylinders, der hineindringende Wachsstock aber erlischt, beim Zurückziehen entzündet er sich wieder an der Oberfläche des Gases, welches brennt, beim abermaligen Eintauchen verlischt er wieder.

Sauerstoffgas selbst ist nicht brennbar, wiewohl es zu den Verbrennungen in der Regel unentbehrlich ist.

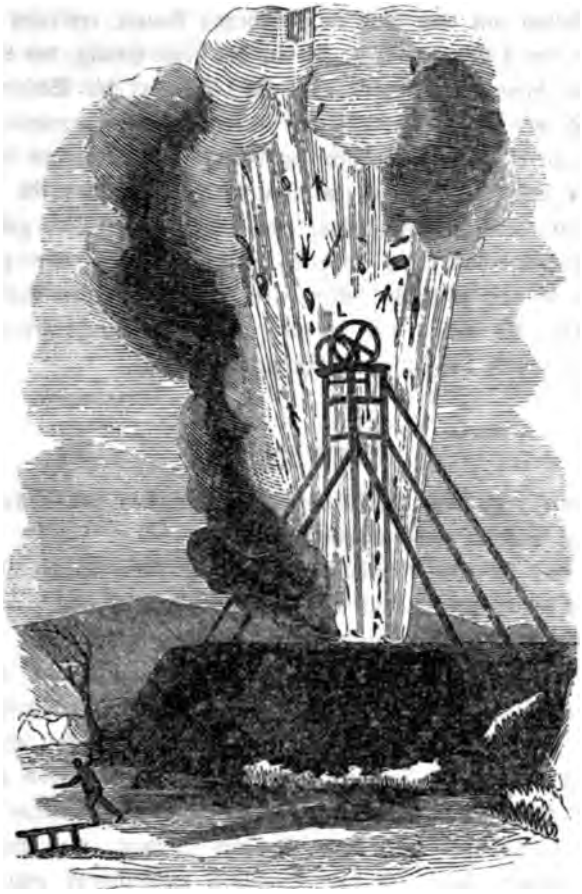
Mischt oder mengt man diese beiden Gasarten mit einander, so kann man sie Jahre lang aufbewahren, sie verbinden sich weder in dem Verhältniß, in welchem sie in der Natur vorkommen (zwei Theile Wasserstoff und ein Theil Sauerstoff bilden Wasser), noch in irgend einem bekannten mit einander: gäbe es ein Filtrum für Gasarten, wie es ein Filtrum für die Wärme giebt (das Metallnetz, welches die Wärme von der Flamme trennt, die brennbaren Gase durchläßt, die Flamme aber nicht), so würde man noch nach Jahre währendem Beisammenstehen das Wasserstoffgas von dem Sauerstoffgas abfiltriren können, denn eine Verbindung findet zwischen diesen Gasen so wenig statt wie zwischen Kohle, Salpeter und Schwefel.

Nun kommt man mit einem Licht oder mit einem elektrischen Funken dazu und augenblicklich ist die chemische Verbindung geschlossen, das Gasgemenge hat sich in Wasser verwandelt, welcher in Dampfform sich an die Wände des Gefäßes niederschlägt, in welchem man die Verbindung vornahm, allein die Gewalt, mit welcher dies geschah, ist so furchtbar, die Detonation so entsetzlich, daß $\frac{1}{8}$ Kubikfuß dieses Gemisches, welches man Knallgas nennt, ein Gewicht von $\frac{1}{4}$ Lod hinlänglich ist, um eine Bombe zu sprengen und einen Knall verursacht, welcher einen Menschen taub machen kann.

Böſe Wetter.

Leider kommen die Detonationen dieſer Gasart, wie ſie ſich mit Kohlengas in Steinkohlenbergwerken entwickelt, nur gar zu oft vor, die hier ſtehende Fig. 18 kann nur in ſchwachen Umriſſen das Entſetzliche eines ſolchen Vorganges andeuten. Die Kohlenminen haben weite geräumige

Fig. 18.



Gänge und Gallerien, welche an die Stelle der Kohlen getreten ſind, die man dem Schooß der Erde entnommen hat. In dieſen Gewölben, Schachten und Stollen befindet ſich atmoſphäriſche Luft, welche durch den Schacht eindringt und ohne welche die Arbeiter ja nicht exiſtiren könnten.

Wenn nun eine Kluft durch den Meißel geöffnet wird, in welcher gekohltes Wasserstoffgas befindlich, so strömt dasselbe, das gewöhnlich stark comprimirt war, aus und erfüllt die Stollen und Schachte, in denen es sich mit der atmosphärischen Luft mengt.

Würde es dort tageshell sein, so hätte dies noch keine Gefahr, denn das Verhältniß der Mischung ist kein für den Athmungsprozeß so nachtheiliges, daß große Beschwerden oder wohl gar der Tod auf das Einathmen folgen müßte, allein die Leute bedürfen der Grubenlampe und so wie die Flamme derselben mit dem Gas in Berührung kommt, explodirt es. Was die Leser auf der Zeichnung sehen, ist nur der letzte Erfolg, der vulcanartige Ausbruch des brennenden Gases aus dem Schacht; die Steine, die verstümmelten Körper der Bergleute, welche in dem Feuerstrahl emporgeschleudert werden, sind nur die Reste derjenigen Unglücklichen, welche gerade in der Nähe des Schachtes befindlich gewesen, im Innern aber ist Alles ein Feuermeer, was Leben hat, wird durch Erstickung oder durch die Flamme getödtet, was von Menschenhand erbaut war, Stützen, Wände, Gewölbe, wird zertrümmert und Alles, was noch vielleicht Leben hätte, in den fernsten Verzweigungen des Bergwerks, bis wohin das brennbare Gas noch nicht gedrungen war, wird zermalmt durch das zusammenstürzende Gebirge.

Die Sicherheitslampe.

Da könnte man solch ein Wärmefiltrum brauchen und Davy hat den Leuten gezeigt, wie sie es anzuwenden haben.

Wenn man in eine Lichtflamme ein feines Gewebe aus Kupferdraht bringt, so schneidet man damit die Flamme völlig ab, die Gase, welche verbrennen könnten, dringen durch das Netz, allein die Wärme wird durch das Metall, welches sie in sich aufnimmt, gehindert mitzugehen und so sind die Gase abgekühlt. Das Erwärmen ist eine Arbeit. Der Mensch hat das Oel, Talg ꝛc., den Brennstoff so weit erhitzt, daß er selbst eine Flamme giebt; nun giebt er dieser Flamme eine andere Arbeit, sie soll ein Drahtnetz erhitzen, aber auch darüber fortbrennen; die Wärme dagegen thut Einspruch, sie sagt: ich habe jetzt etwas Anderes zu thun, was meine Kräfte in Anspruch nimmt, wenn ich das Drahtnetz weißglühend gemacht haben werde, dann werde ich versuchen, die Flamme außerhalb wieder herzustellen.

Das gelingt aber der Wärme einer Lichtflamme nicht, sie hat vollauf zu thun, das Netz so heiß zu machen, daß man es nicht anfassen kann, aber dies genügt nicht zur Entzündung der Flamme und darauf stützte Davy *seine* Erfindung. Die Sicherheitslampe unterscheidet sich von einer gewöhn-

lichen Lampe in gar nichts weiter, als daß sie statt eines Glascylinders einen solchen von Drahtgaze hat. Je feiner die Maschen sind, je besser das Metall, woraus sie gewebt, die Wärme leitet, d. h. je leichter die Wärme, welche es an einer Stelle empfängt, sich über die ganze Masse verbreitet, desto gesicherter ist man gegen die Entzündung des Gasgemenges, in welchem sie brennt. Dabei hat sich die merkwürdige Thatsache offenbart, daß jenes tödtliche Gasgemenge, in welchem die Davy'sche Lampe brennt, die Maschen nur erhitzt und nicht von innen nach außen durchdringt, sondern daß es umgekehrt von außen der Flamme zuströmt und den Drahtcylinder ganz erfüllt, dergestalt daß, da die brennende Masse 50 Mal größer ist als die Flamme der Lampe ohne dies Zuströmen des brennbaren Gases sein würde, sie auch nichts an Leuchtkraft verliert, obwohl viel mehr Draht als durchsichtige Stellen in dem Cylinder vorhanden sind.

Leider haben die Arbeiter nicht genug Verstand, um einzusehen, welche Wohlthat ihnen mit dieser Erfindung geworden ist, und um eine Pfeife Tabak anzuzünden, setzen sie ihr Leben, das von 400 Mitarbeitern und die Existenz ihrer Familien jeden Augenblick auf das Spiel.

Explodirende Pulver.

Wie hier die Mischung der beiden Gasarten ihnen eine solche explodirende Kraft giebt, so bei dem Schießpulver die Mischung der festen Substanzen, aus denen bei ihrer Verbrennung sich Gase entwickeln, welche die ungeheure Wirkung hervorbringen, die wir an dem Producte der Mischung kennen. Die Gase, nämlich Kohlensäure, Stickstoffgas, nehmen ungefähr den 380fachen Raum des Schießpulvers ein, die Hitze, welche bei dem Verbrennen des Salpeters entsteht und die man sicher nicht zu hoch mit 700 Grad annimmt, dehnt diese Gase noch auf das Vierfache des Raumes aus, den sie hätten, wenn man sie kalt erzeugen könnte; dazu kommt noch eine Substanz, welche sich aus den Stoffen bildet, die man vor der Verbrennung mengte. Aus dem Schwefel nämlich und dem Kali des Salpeters bildet sich Schwefelkalium (welches den üblen Geruch des Schießpulvers beim Abbrennen verursacht) und dieses verdampft bei der großen Hitze gleichfalls und vermehrt die Menge und den Druck der Gasarten auf das Projectil, so daß man wahrscheinlich nicht zu viel thut, wenn man die Wirkung guten Schießpulvers so anschlägt, als ob plötzlich eine 2000 Mal so große (kalte) Luftmasse als die Pulvermasse war, auf die Kugel wirkte, besonders wenn man die jetzigen Verbesserungen am Lauf, an der Art der Ladung und hinsichtlich der Entzündung des Pulvers von vorn nach hinten berück-

sichtigt. Auf diese letztere hat man ein großes Gewicht zu legen, da sie verhindert, daß das von der Schwanzschraube her entzündete Pulver durch seinen Druck noch unverbranntes Pulver aus dem Laufe wirft, welches natürlich dann nicht zur Wirkung auf das Geschoß kommen kann, indeß, wenn das Pulver von der Kugel her (wie bei den Zündnadelgewehren) rückwärts gehend brennt, auch nicht ein Körnchen unverbrannt verloren geht.

Knallpräparate.

Die Wärmeentwicklung durch gemischte Körper hat eine vielfache, wenn auch nicht immer die erwartete Anwendung in der Technik erhalten, es gehören dahin die sogenannten Knallpräparate: Knallgold, Knallsilber, Knallqueckſilber ꝛc., welche nicht wie das Schießpulver erst durch Feuer entzündet werden dürfen, sondern schon durch Stoß oder Reibung, selbst bei einem geringen Grade derselben auf das Gewaltsamste explodiren. Diese Präparate enthalten eine eigenthümliche Säure, die Knallsäure, und wenn zwei derselben keine andere Anwendung gefunden haben, als etwa um in Vorlesungen über Chemie Unterricht über die Wirkungen derselben zu ertheilen, so hat dagegen das Knallqueckſilber eine sehr weit verbreitete technische Anwendung zu den Zündhütchen bei Feuergewehren gefunden.

Das höchst gefährliche Präparat wird dargestellt, indem man Queckſilber in Salpetersäure auflöst und die Lösung in rectificirten Weingeist gießt. Bei mäßiger Erwärmung dieses Gemisches beginnt ein starkes Aufbrausen und eine Entwicklung von weißem Rauch, worauf das Knallqueckſilber sich aus der Flüssigkeit niederschlägt, von derselben durch das Filtrum getrennt und auf dieser sehr sorgfältig ausgewaschen wird. Das getrocknete Präparat (sehr schwierig aufzubewahren, weil es durch Druck, Reibung, Stoß, durch den elektrischen Funken, durch brennenden Zunder, durch concentrirte Schwefelsäure zum Detoniren gebracht wird) ist dasjenige, welches man zu den Zündhütchen braucht. Wie gefährlich es sei, damit umzugehen, möge das Folgende zeigen.

In einer Fabrik solcher Zündhütchen am Rhein wollte ein junger Mann, der Inspector und Chemiker der Fabrik, seine Untergebenen warnen vor der leider so leicht einreißenden Unvorsichtigkeit bei täglichem Spielen mit der Todesgefahr, und er zeigte ihnen eine ganze Hand voll Papierkapseln, auf deren jeder Knallqueckſilber getrocknet, darauf aber sorgfältig entfernt worden war, so daß man auf dem Papier nichts mehr sah. Er erklärte, daß dennoch davon auf dem Papier so viel zurückgeblieben, um eine Explosion — wenn schon unschädlich — zu veranlassen. Indeß er nun

einige dreißig solcher offenen Papierblätter in der linken Hand hielt, nahm er zwischen Daumen und Zeigefinger beider Hände ein einzelnes Blatt und rieb dasselbe zwischen den Händen. Es entstand eine Explosion, bei weitem stärker als er erwartet und man bemerkte, daß alle Papiere detonirt hatten; der Inspector sagte noch: „Himmel, wenn nur kein Unglück geschehen ist!“ Ihm selbst war schon das größte Unglück geschehen, denn beide Hände waren ihm weggerissen, es hingen an den Stummeln der Arme nur noch einzelne Sehnen und Hautlappen. Die Explosion hatte eine so furchtbar rasche Wirkung gehabt, daß er nicht einmal den Verlust der beiden Hände gefühlt hatte.

Dieses höchst gefährliche Präparat benutzt man nun auch noch zu Knallerbsen, Knallbonbons, Knallfidibus (die schlechteste Anwendung, weil sie dem Angeführten die Augen kosten kann, da die Explosion dicht vor seinen Augen entsteht) und es sollten diese Spielereien wohl eigentlich verboten sein, da sowohl die Aufbewahrung als der Verbrauch sehr üble Folgen nach sich ziehen kann. Der Verfasser hat gesehen, wie eine Dame ihrem Töchterchen ein Knallbonbon gab, das zufällig fester in der Papierhülse saß und deshalb von dem Kinde mit dem Papier in den Mund gesteckt wurde; die Explosion erfolgte natürlich beim Zerbeißen und das arme Kind verlor drei Backzähne und trug eine höchst gefährliche Verletzung der Mundhöhle davon.

Chlornatrium.

Das früher sogenannte oxydirte salzsaure Kali, welches die neuere Chemie einfacher als chlorsaures Kali nennt, gehört gleichfalls zu jener wunderbaren Gruppe von explodirenden Körpern, welche ihre detonirende Gewalt nur durch die Mischung verschiedenartiger Substanzen erhalten.

Chlor ist jener einfache Körper, der in großer Verdünnung in der Luft vertheilt Ansteckungsstoffe vernichtet, die Luft reinigt, in noch größerer Menge eingeathmet Schnupfen und Katarh, Husten, Brustbeschwerden, in noch größerer Bluthusten, Zusammenziehung der Athmungswerkzeuge bis zum Erstickungstode herbeiführt. Chlor ist diejenige Substanz, welche in geringer Menge mit Wasser gemischt das sogenannte Bleichwasser giebt, das zum Bleichen von Papier, Baumwolle, Leinwand ohne Nachtheil für diese Substanzen verwendet wird, sie jedoch völlig zerstört, wenn sie nach der verlangten Bleichung nicht vollkommen entfernt wird. Es ist die wunderbare Substanz, welche im Magen und in der Lunge ein furchtbares, schnell, aber unter gräßlichen Schmerzen zerstörendes Gift, mit einem andern eben so

fürchterlichen, einem nicht athembaren Gifte, dem Natriummetall gemischt, ein unentbehrliches Würz- und Auflösungsmittel für fast alle unsere Speisen, das Kochsalz liefert. Chlor ist die wunderbare Substanz, welche mit einigen andern Elementen, mit dem Stickstoff, dem Schwefel, dem Kalium und dem Sauerstoff jene Knallpräparate liefert, welche in kleinen Mengen (mit Ausnahme des Chlorstickstoffes) zu technischen Zwecken höchst brauchbar, in großen Massen wegen der furchtbar detonirenden Wirkung gar nicht anwendbar und nur für die Chemie nicht von Interesse ist.

Der Chlorstickstoff, dessen Entdeckung H. Davy eine Hand und ein Auge kostete, ist eine Verbindung, welche man erhält, wenn man Chlordämpfe durch eine Ammoniaklösung streichen läßt.

Das uns für die Lehre von der Wärme mehr interessirende Salz, das chlorsaure Kali, verbrennt unter sehr verschiedenen Umständen, theils leicht, theils schwerer und wird deshalb technisch häufig angewendet. Auch hier sieht man wieder eintreten, was bisher von den ähnlichen Substanzen gesagt wurde, daß sie durch Mischung ihre Verbrennungsfähigkeit sehr erhöhen. Das chlorsaure Kali an sich bringt man nicht zum Explodiren durch Reibung oder Stoß, wenn man aber in einen Serpentin- oder Porzellanmörser Schwefelblumen (natürlich in höchst geringer Menge, nicht mehr als ein paar Gran) zerreibt und ein paar Blättchen des chlorsauren Kalis dazu thut, so hört man während des Reibens ein fortwährendes Knistern, das plötzlich in einen heftigen Knall übergeht, welcher den Stempel emporschleudert, falls der Mörser nur einigermaßen eng war. Hat man es nicht bis dahin kommen lassen und schüttet man das Pulver aus der Reibeschale und wischt dieselbe mit einem Tuche aus, so ist dies schon genug, das Knistern hören zu lassen.

Wenn man von dem Salz einen Gran etwa und halb so viel Phosphor in ein Stückchen Papier einwickelt, auf einen Ambos legt und einen Schlag mit dem Hammer darauf führt, so entsteht eine furchtbare Explosion, welche Hammer und Ambos erschüttert, den Hammer so zurückwirft, daß man Mühe hat, ihn in der Hand zu behalten. Der umhersprühende, brennende Phosphor kann sehr gefährlich werden.

Zündhütchen, Zündhölzchen.

Die außerordentlich leicht zu bewirkende Entzündung durch Druck oder Stoß giebt diesem Gemisch eine technische Verwendung, welche viel allgemeiner geworden ist als die des Knallqueckſilbers. Ein Zündpulver bemann aus diesem Salze, Schwefel, Bärlappsamen und etwas Salpeter.

Die Zündkügelchen werden aus chlorsaurem Kali, Schwefel und Kohlenpulver bereitet, mit Tragantschleim zu einem Teig gerührt, aus welchem man kleine Kügelchen formt, die in die Patronen für Zündnadelgewehre gebracht, durch den Stoß der Nadel entzündet werden.

Die sonstmals in wahrhaft unermeßlicher Menge verbreiteten chemischen Zündhölzchen danken das Glück, welches sie gemacht haben und die außerordentliche Verbreitung der leichten Entzündlichkeit des chlorsauren Kali, welches nur einer Spur von Befeuchtung mit Schwefelsäure bedurfte, um zu explodiren. Die neuere Zeit hat es vorgezogen, die Schwefelsäure als Zündmittel fortzulassen und die Reibung dafür zu setzen. Bleibt man als Zündstoff bei dem chlorsauren Kali, so ist die Entzündung immer mit einer kleinen Verpuffung verbunden und die Bereitung der Masse im Großen zur technischen Verwendung ist mit Gefahr verknüpft, daher hat man sich an den Phosphor als Zündstoff gewendet.

In einer Auflösung von Gummi arabicum verreibt man sorgfältig und unter einer Erwärmung auf 50 Grad 9 Theile Phosphor, 16 Theile geschlemmten Braunstein und 14 Theile Salpeter. Man setzt jeden folgenden Bestandtheil nicht früher zu, als bis man glaubt, den ersten vollkommen gleichmäßig verrieben zu haben, Salpeter kommt immer zuletzt. Die leicht mit Schwefel überzogenen Hölzchen werden in diese Mischung getaucht, so daß sie an der Spitze ein kleines Knöpfchen erhalten; nach dem vollständigen Trocknen giebt man ihnen wohl noch einen Ueberzug von Firniß, um sie vor Feuchtigkeit zu schützen und um zu verhindern, daß der Sauerstoff der Luft sich mit dem Phosphor früher als beim Zünden verbinde.

Man kann auch den Schwefel fortlassen, wenn die Hölzchen auf der einen Seite einen Augenblick in Oel getaucht werden (natürlich nicht einzeln, sondern tausendweise), dies bewirkt, daß sie sich bis zur Hälfte ihrer Länge damit tränken und durch den Phosphor und Salpeter allein, ohne Dazwischenkunft des Schwefels entzündet werden. Die geringfügigste Reibung bewirkt dies.

Die hier genannten explodirenden Substanzen (Knallgold, chlorsaures Kali ꝛc.) entbinden zwar viel weniger Gase als das Schießpulver, aber auf eine viel plötzlichere Weise, daher ist ihr Stoß in der nächsten Umgebung viel gewaltiger als der des Pulvers, eine Kugel hingegen treiben sie nicht fort. Hieran scheitern die Versuche, sie (diese Knallpräparate) auf Geschütze anzuwenden. Statt des Salpeters hat man chlorsaures Kali mit dem Schwefel und der Kohle gemengt, daraus Schießpulver bereitet und gehofft, damit die Kugeln viel weiter zu treiben als mit dem gewöhnlichen Pulver; es wurde eine Kanone geladen, beim Abfeuern riß dieselbe der ganzen

Länge nach auf und die Kugel fiel 20 Schritte weit von der Mündung zu Boden.

Wo Widerstand ist, wird derselbe überwunden. Knallsilber in genügender Menge auf einem Tische, auf einer 3 Zoll dicken Granitplatte liegend, schlägt durch dieselbe hindurch und läßt den darauf gelegten Schachteldeckel unbeschädigt. Schießpulver in derselben Menge verpufft ohne Geräusch und geschieht es von einem aufgespannten Papierbogen, so wird nicht einmal dieser durchgeschlagen; das Schießpulver dagegen eingeschlossen treibt eine Kugel viele hundert, ja viele tausend Schritte vor sich her, ohne dem Lauf zu schaden, das Knallpulver läßt die Kugel liegen und zertrümmert den Lauf. Doch hat man durch Zusatz von Substanzen, welche die plötzliche Entzündung hindern, dieselbe in eine langsamere verwandeln, dieselben Knallpräparate benutzen gelernt, man hat Feuergewehre ohne Pulver, in denen das im ganz verschlossenen Raum verpuffende Zündhütchen allein die treibende Kraft hergiebt. Es sind dies büchsenartig gearbeitete Gewehre, in denen ein durch starke Schrauben verschließbarer Raum das Zündhütchen aufnimmt; der Raum hat nur eine Oeffnung nach dem Rohr zu, in welchem die Kugel liegt, das Hütchen wird durch einen Schlag von außen entzündet, die Gasarten, die es selbst entwickelt und die eingeschlossene atmosphärische Luft, bis auf mehrere tausend Grade erhitzt, geben die nöthige Spannung her, um eine kleine Kugel doch bis auf 100 Schritte weit mit einer solchen Kraft zu treiben, daß sie in einem kienenen Brett haften bleibt.

Verbrennungs-Bedingungen.

Was wir an wärmeerregenden Kräften und an Verbrennungsstoffen bis jetzt betrachtet haben, enthielt die Bedingungen der Erwärmung oder der Verbrennung in sich; es giebt nun aber noch andere Verbindungen, bei denen ein äußeres, scheinbar fremdes Vehikel hinzutreten muß. Die Sonne bedarf eines solchen nicht, sie erwärmt durch den lufterfüllten wie durch den luftleeren Raum, die Reibung erhitzt, man möge sie anstellen, wo und wie man wolle, eben so ist es mit dem Druck und mit den gewöhnlichen chemischen Verbindungen. Schwefelsäure und Wasser gemischt erhitzen sich unter allen Umständen und Schießpulver, so wie die andern explodirenden Präparate gleichfalls, denn sie tragen die Bedingungen der Verbrennung in sich, sie bestehen zum großen Theile aus Sauerstoff. Es ist ein Irrthum, daß Schießpulver sich nicht im luftleeren Raum entzünde. Man hat dies jederzeit mit dem bekannten alten Feuerschloß versucht, da entzündet es sich allerdings im luftleeren Raum nicht, weil die Bedingung des Erglühens

für den Stahl fehlt, der Sauerstoff; allein nicht für das Pulver, denn dieses hat den Sauerstoff in sich selbst, der zur Verbrennung seiner Kohle und seines Schwefels nöthig ist. Wenn man Pulver unter die Glocke einer Luftpumpe bringen, die Luft entleeren und das Pulver durch ein Brennglas entzünden wollte, so würde es so gut explodiren wie im lufterfüllten Raum und man müßte, wenn man nicht große Gefahr laufen wollte, den Versuch jedenfalls unter einer sehr großen Glocke und mit einer sehr kleinen Menge Pulver anstellen.

Daß diese Gemische der atmosphärischen Luft oder dessen, was von derselben die Verbrennung begünstigt, des Sauerstoffgases nicht bedürfen, geht ja auch daraus hervor, daß sie in eng verschlossenen Räumen eben so gut zur Entzündung kommen wie an der freien Luft; wäre dies nicht der Fall, so würde man damit nicht schießen und nicht Bomben, nicht Felsen sprengen können.

Ein ganz Anderes ist es nun mit der Erregung von Wärme auf dem gewöhnlichen Wege der Verbrennung, zu dieser ist die Luft mit dem Sauerstoff eine ganz unerläßliche Bedingung. Wenn man ein Stück trocknen Holzes bis zu dem nöthigen Grade erhitzt, so entwickelt es aus seinen Poren eine Menge verschiedener Gase, welche zum größten Theile brennbar sind. Sie entzünden sich und entwickeln dabei eine Temperatur, welche zur ferneren Verbrennung, welche zur Erhaltung des Feuers genügend ist; wenn dies nicht der Fall, so ist das Material schlecht oder der Zutritt von Sauerstoffgas nicht genügend. Man kann das trockenste Holz, welches zu Dreiviertheilen bereits verbrannt ist, am ferneren Verbrennen verhindern, wenn man entweder den Ofen, in welchem es brennt, sorgfältig verschließt oder wenn man Stickstoffgas statt atmosphärischer Luft zu dem Ofen treten läßt. Im Großen würde dies so wie der Zutritt von Kohlensäure schwer möglich zu machen sein, im Kleinen kann man dies ganz leicht bewerkstelligen.

Ein jedes Licht befindet sich in dem Zustande eines trocknen Holzscheites, es entwickelt sich durch sein einmal veranlaßtes Brennen so viel Hitze, um den Wachs, das Stearin zu schmelzen und die geschmolzene Substanz, welche durch Capillarität in den Zwischenräumen des Dochtes aufsteigt, zu zersetzen, in Gase zu verwandeln. Wenn man ein solches brennendes Licht unter eine Glasglocke, welche mit atmosphärischer Luft gefüllt ist, stellt, so brennt das Licht Anfangs ganz munter fort, nach und nach wird die Flamme matter, niedriger, immer blasser, sie verlischt, der Docht glimmt noch ein paar Secunden, dann wird auch er schwarz. Hier ist der Fall eingeleitet, wo man einem Ofen den Zug abschneidet; es ist nämlich gleichgültig, ob man verhindert, daß die erhitzten und verbrauchten Gase oben sich entfernen,

ausströmen, oder ob man verhindert, daß unten neue sauerstoffhaltige Luft zutritt, in beiden Fällen fehlt es dem verbrennenden Körper an Nahrung und er muß deshalb zu brennen aufhören.

Erstickende Gase.

Füllt man einen ziemlich großen Cylinder mit Kohlensäure an, welche man am leichtesten dadurch erhält, daß man etwas Kreide in eine Flasche thut, verdünnte Schwefelsäure darauf gießt und das sich entwickelnde Gas (das eben die Kohlensäure ist) auffängt, so kann man diesen Cylinder mit der Luftart, welche viel schwerer ist als atmosphärische Luft, unbedenklich einige Minuten ganz offen stehen lassen, es vermischt sich die letztere mit der Kohlensäure allerdings und verdrängt sie endlich ganz aus dem Cylinder, doch immer langsam genug, um Zeit zu einem interessanten Experiment zu lassen.

Man biegt einen etwa fußlangen, steifen Draht an einem Ende so um, daß dieses kurze umgebogene Stück wieder aufwärts geht und parallel mit dem übrigen langen Stücke Draht ist. Man kann nun auf das kurze Endchen ein Stück Wachslicht stecken, den langen Draht oben bei seinem geraden Ende fassen, so wird beim Anzünden das Lichtchen längs des Drahtes aufrecht brennen und sich leicht in den Cylinder senken lassen, ohne daß man durch Umkehren desselben das Experiment ungewiß macht.

Senkt man ein auf diese Weise befestigtes, brennendes Licht in den weiten, dem Luftzutritt offenen Cylinder, so erlischt die Flamme in dem Augenblick, wo sie die Kohlensäure erreicht, vollkommen, es bleibt auch der Docht nicht einen Augenblick glimmend; bläst man vorher das Licht aus und senkt man den glimmenden Docht in den Cylinder, so wird derselbe schwarz, so wie er unter die Mündung des Glases gebracht wird. Schlägt man mit einem scharfen Feuerstein von einem guten Stahl Funken ab, so fallen dieselben blendend weiß leuchtend eine Elle hoch hinab, ehe sie in der Luft verlöschen. Macht man dieses Experiment über einem Cylinder mit Kohlensäure, so daß die Funken dahinein fallen, so sieht man sie glänzen und leuchten, so lange sie durch die Luft fliegen, doch in dem Augenblick, wo sie die Mündung des Gefäßes erreichen, sind sie verschwunden; es macht den Eindruck, als wäre der Cylinder mit Glas zugedeckt, bis an die Scheidewand fliegen die weißglühenden, strahlenden Stahlstückchen, dann sind sie todt.

Diese Erscheinung rührt von der Ausschließung des zur Verbrennung nöthigen Sauerstoffgases her, es ist als ob man dem Zugloch eines Ofens statt atmosphärischer Luft Stickstoff- oder Kohlensäuregas zuführte.

Wärmeentwicklung beim Verbrennen.

Entwickelt der Körper beim Verbrennen nicht so viel Hitze als zur Zersetzung seiner Theile in Gase oder bei flüssigen Substanzen, als zur Verwandlung derselben in Dampf erforderlich, so wird die Verbrennung dieses Körpers auch nicht durch ihn selbst unterhalten. Die warmen Grade übrigens, welche ein Körper zur Verbrennung braucht, sind höchst verschieden. Phosphor geht eine langsame Verbrennung schon bei gewöhnlichen Temperaturen ein, er verbindet sich bei 2 Grad über 0 mit dem Sauerstoff und leuchtet, bei 30 Graden tritt eine Entzündung in dem Grade ein, daß er eine hohe und helle Flamme giebt, Holz braucht 400 Grade, um zu brennen, Schwamm oder Kohle glimmt nur, Eisen verbrennt gar nicht.

Holz in einiger Menge aufgehäuft, entwickelt beim Verbrennen nicht nur genug Wärme, um sich selbst zu verzehren, sondern es kann auch von seiner Wärme noch bedeutend abgeben; hierauf beruht das Kochen, das Glühen der Metalle, das Schmelzen derselben ꝛc. Ein einzelnes, aus dem lebhaftesten Feuer genommenes Scheit Holz verbrennt aber nicht, es entwickelt nicht genug Hitze, um dadurch verzehrt zu werden, es müssen mehrere beisammen liegen, die einen Brennpunkt bilden, von welchem aus das unverbrannte Holz erst zur nöthigen Höhe erhitzt werden muß — das einzelne Scheit verlischt, auch wenn es im vollsten Brande war.

Ist aber das Holz naß, so hilft ihm seine Brennbarkeit nichts, es muß eine so starke Hitze von außen haben, daß es das aufgenommene Wasser verflüchtigt, selbst trocknet und nun erst kann die noch übrige Hitze verwendet werden, das getrocknete Holz in Brand zu setzen. Solches Holz aber brennt nicht fort, auch wenn eine große Menge davon zusammen liegt. Die Hitze, welche das in Gluth gebrachte Holz entwickelt, reicht kaum hin, das Wasser in Dampf zu verwandeln, und so verflüchtigt entzieht es dem Holze das, was ihm zum Verbrennen zuerst erforderlich, Erhöhung bis auf die geeignete Temperatur. Daher ist es durchaus unzweckmäßig, nasses Holz zum Heizen der Oefen zu nehmen; wenn auch durch Zuführung hinlänglichen Sauerstoffes zu dem Feuerraum, d. h. durch starken Zug das Holz verbrannt wird, so giebt es doch äußerst wenig von seiner Hitze an den Ofen ab, indem es dieselbe selbst verbraucht.

Noch andere Substanzen, wie z. B. die Metalle, verbrennen unter den gewöhnlichen Umständen nicht, man kann sie glühend machen; sobald jedoch das Heizmittel Kohle, Holzfeuer, Gas, hinweggenommen wird, so erlischt die Gluth sehr bald.

In diesen verschiedenen Gradationen liegt vorzugsweise der Ausdruck der Sauerstoffmenge, welche ein Körper zu seinem Verbrennen braucht und hierin wieder liegt eine Andeutung zu der Möglichkeit, solche Substanzen dennoch zu verbrennen, nämlich dadurch, daß man ihnen künstlich die nöthige Menge Sauerstoff zuführt.

Einfluß des Sauerstoffes.

Gewöhnlich geschieht dies durch sogenannte Gebläse, deren man sehr verschiedene hat, unter andern Umständen aber und im kleinen Maßstabe dadurch, daß man Sauerstoffgas entwickelt und die zu verbrennenden Körper da hinein bringt. Hat man dies Letztere gethan, so giebt es nun beinahe keinen Körper, der nicht vollständig verbrannt werden könnte. Nicht nur brennt ein Stückchen Schwamm oder Kohle, auf den oben beschriebenen, zum Haken gebogenen Draht gebracht und in ein Glas mit reinem Sauerstoffgas gehalten, statt zu glimmen, mit heller Flamme auf, sondern eine Uhrfeder brennt darin gleichfalls, als ob es ein Holzspan wäre, nur allerdings unter bei Weitem schönerer, ja fast gar nicht zu beschreibender Lichterscheinung.

Man befestigt an einem Kork, der die Flasche, in welcher das Sauerstoffgas befindlich, gut verschließt, eine feine Uhrfeder, welche vorher gerade gestreckt war und an deren unteres Ende man ein kleines Stückchen Schwamm gesteckt hatte. Der Schwamm wird angezündet und dann die Feder mit Kork in und auf die Flasche gebracht.

Sogleich brennt der Schwamm und macht die Spitze der Uhrfeder glühend, im Sauerstoffgase aber erhitzt sich der glühende Stahl so sehr, daß er in Weißglühen, in ein lebhaftes Funkensprühen — in ein Sternensprühen übergeht. Der verbrennende Stahl entwickelt im Sauerstoff genug Hitze, um sich selbst zu verzehren, die Verbrennung aus sich selbst zu erhalten, diese ist aber so außerordentlich lebhaft, daß er schmilzt und die durch den Sauerstoff fallenden Tropfen wie glänzende Sterne erscheinen — der Vergleich selbst ist durchaus nicht genügend, denn unzweifelhaft hat die Venus in ihrem hellsten Glanz bei dem klarsten Winternachthimmel nicht eine solche Leuchtkraft, nicht ein solches Funkeln und Strahlenschießen wie die durch das Sauerstoffgas fallenden Stahlperlchen.

Welche Hitze dieselben dabei entwickeln, geht daraus hervor, daß, wenn man in der Flasche auch einen Zoll hoch Wasser stehen hat, die Stahltropfen unter Wasser nicht nur eine Zeit lang fort glühen, sondern die Gluth auch so groß ist, daß sie sich mit dem Glase verbinden, völlig in das *Glas einschmelzen*, ja wenn der Boden der Flasche nicht dicker ist als die

Wände, denselben durchlöchern. Um also diesem Uebelstande auszuweichen, muß man nicht nur einen Zoll hoch Wasser, sondern in diesem auch am Boden der Flasche ½ Zoll hoch Sand liegen haben. Mit diesem nun schmilzt das Stahlkügelchen zusammen, ohne der Flasche Schaden zu thun.

Man sieht wohl, daß im Großen dies Verfahren nicht anzuwenden wäre, weil die Erzeugung des Sauerstoffgases die Kosten so steigern würde, daß die erzielten Producte nicht mehr lohnend wären für den Unternehmer, da wendet denn der Techniker sich an das ungeheuere Sauerstoffreservoir, aus welchem er kostenlos schöpfen kann, außer etwa, daß ihm das Schöpfrad etwas kostet. — Die atmosphärische Luft, in welcher der Sauerstoff zu einem Fünftheil der ganzen Masse vorhanden ist, kostet ihm nichts.

Kälteerregung, Wärmeentziehung.

Man muß daher nicht glauben, man mache Kälte, es geschieht nichts Derartiges, man bringt einen festen Körper zum Schmelzen. Um zu schmelzen, entzieht derselbe Körper seiner Umgebung die Wärme, welche sie hat, dadurch wird es in dieser seiner Umgebung kälter. Begünstigt man durch besondere Umstände solches Flüssigwerden eines festen, oder noch besser zweier fester Körper, so wird das an sich Raffen der Wärme lebhafter und hieraus geht eine schnellere, eine größere Abkühlung hervor.

Die gewöhnlichste und leichteste Art, solche, wie man sich ausdrückt, „künstliche Kälte hervor zu bringen," ist diese:

Auf eine flache Zinnschüssel schüttet man Schnee, darüber Salz, darüber wieder Schnee und nochmals Salz und wenn man diese Mengung in einem warmen Zimmer auf einem nassen Tisch setzt, so kann man in wenigen Minuten mittelst der Schüssel den Tisch aufheben, d. h. die Schüssel ist an denselben fest angefroren.

Setzt man diese Mischung, in einer Zinnschüssel angemacht, wieder in eine irdene Schüssel mit Wasser, so kann man beide zusammen auf den warmen Stubenofen, ja auf ein Kohlenbecken setzen; bevor das Feuer die irdene Schüssel durchwärmt hat, ist durch die besser leitende zinnerne Schüssel dem Wasser so viel Wärme entzogen, daß es gefriert.

Es giebt eine große Anzahl Vorschriften zu sogenannten Kältemischungen, deren einige hier folgen mögen:

Ein Theil salpetersaures Ammoniak mit einem Theil Wasser übergossen, bringt eine Temperatur von 15 Grad unter 0 hervor, auch wenn die einzelnen Substanzen vor der Mengung 10 Grad über 0 hatten. Unter denselben Umständen verbunden, giebt Salpeter mit Salmiak gemengt nur

12 Grad unter 0 Grad. Dagegen eine Mischung von 8 Theilen schwefelsaures Natron mit 5 Theilen Salzsäure eine Temperatur von 17 Grad hervorbringt. Diese Temperatur ist es auch, welche das zuerst angeführte Experiment, Eis mit Kochsalz, giebt.

Wenn man zu dem Schnee fein gepulverten salzsauren Kalk schüttet, so erhält man ein Kälte von — 45 Grad, in dieser Frostmischung kommt Quecksilber sofort zum Gefrieren und flüssiges Ammoniak, so wie Aether krystallisiren darin. Das Quecksilber fordert übrigens ein sehr dünnes Schälchen von Eisenblech oder von Platin, auch darf man nicht erwarten, große Quantitäten zum Gefrieren zu bringen, ¼ Pfund erstarrt indessen ganz leicht und dies auf die bloße Hand gelegt, erzeugt, wie bereits bemerkt, eine Brandblase.

Die größte Kälte wurde dadurch erzeugt, daß man feste Kohlensäure mit Schwefeläther übergoß, sie betrug 75—85 Grad unter 0. Dadurch soll Alkohol von 0,798 specifischem Gewicht dickflüssig wie Oel geworden sein. Mitchel trieb durch dieselben Mittel die Kälte bis auf 99 Grad und erhielt dabei den Weingeist in der Dicke eben gerinnenden Wachses; ihn fest, krystallisirt darzustellen, ist noch nicht gelungen.

Um diese niedrigen Temperaturen hervor zu bringen, sind einige Vorsichtsmaßregeln unerläßlich und werden dieselben hier mitgetheilt, damit, falls man die Versuche anstellen will, nicht Mißgriffe gemacht werden, die Versuche nicht mißlingen und das Mißlingen dann auf die Anleitung zu denselben geschoben werde.

Vor allen Dingen müssen die angegebenen Salze krystallinisch, sie dürfen nicht verwittert sein. Ist dies Letztere der Fall, so haben sie ihr Krystallwasser verloren und statt daß sie durch Schmelzung ihrer selbst Wärme an sich raffen, also Kälte erzeugen, verwandeln sie im Gegentheil flüssiges Wasser in festes und machen dadurch Wärme frei (sie verwandeln einen Theil der hinzugethanen Flüssigkeit in Krystallisationswasser).

Das demnächst Wichtigste ist, daß die Substanzen, so weit sie fest sind, fein gepulvert werden, damit bei der Mengung ein recht inniges Ergreifen an sehr vielen Stellen zugleich stattfinden könne; auch muß man die verschiedenen Körper selbst so kalt halten wie möglich; sind dieselben vor dem Experiment schon auf einer Temperatur von —10 Grad angelangt, so wird ihre Mischung eine viel niedrigere Temperatur hervor bringen als wenn sie + 10 Grad gehabt hätten.

Um die möglichste Kälte zu erzielen, muß man zwei Frostmischungen machen; die eine in einem großen hölzernen oder thönernen Gefäße mit *starken* Dosen der Salze und Flüssigkeiten. Das Gefäß, aus einer die Wärme

schlecht leitenden Substanz verfertigt, läßt von außen wenig Wärme zu und da die Mischung Wärme braucht, so entzieht sie dieselbe dem Gefäß, welches man hinein stellt.

Dies Gefäß, welches man in die Frostmischung bringt, muß von einem möglichst guten Wärmeleiter, also von Metall sein, hat man mit Säuren zu thun, so muß man solche Metalle wählen, welche von diesen Säuren nicht angegriffen werden, wie z. B. Blei, noch besser Platin.

In dies Gefäß nunmehr bringt man die Frostmischung, mit welcher man experimentiren will; die erste war nur bestimmt, um etwa zutretende Wärme von außen abzuhalten. Die Wandung desselben ist gut leitend; wenn die äußere Frostmischung also recht kalt wird, so entzieht sie der inneren vielmehr Wärme, als daß sie ihr welche zuführt.

Auch in dem Innern, in dem Metallgefäß, macht man die Mischung aus so großen Quantitäten als irgend möglich und erst hier hinein stellt man dasjenige, worauf man die Kälte wirken lassen will und dies geschieht wieder in einem Metallgefäß, damit die zweite Frostmischung, welche von außen her keine Zufuhr von Wärme bekommt, diese ihr nothwendige von dem innersten Gefäße (oder vielmehr von dessen Inhalt) nehmen müsse, und damit sie möglichst leicht dazu gelangen könne, muß auch dies innerste Gefäß von Metall sein.

Es giebt nun noch eine sehr zweckmäßige Anordnung der Gefäße, welche die Wirkung dadurch steigert, daß es sie beschleunigt.

Die beiden Gefäße von Holz und von Metall, in denen die Frostmischungen vorgenommen werden sollen, bleiben so, wie beschrieben ist. Das dritte Gefäß aber, in welchem man den Gegenstand erkälten will (z. B. in welchem man Weingeist zum Erstarren zu bringen beabsichtigt), ist ein doppeltes und so eingerichtet, daß eins in dem andern steht, nirgends beide Gefäße sich berühren (beide sind sehr dünn und von Metall), zwischen dem innern und dem äußern Gefäße aber die Flüssigkeit, welche erstarren soll, Raum findet.

Man setzt nun das Doppelgefäß, mit beispielsweise Weingeist, zwischen den beiden Wandungen in das Metallgefäß mit der Frostmischung und bringt in das Innerste des Doppelgefäßes abermals eine Frostmischung. Hierdurch hat man den Vortheil, daß erstens die ursprüngliche Frostmischung von außen keine Wärme erhalten kann, zweitens, daß die zu erkaltende Substanz zwischen zwei Frostmischungen steht, drittens, daß diese zu erkaltende Substanz den beiden Mischungen die größtmöglichste Oberfläche bietet, indeß sie selbst so wenig Masse hat wie möglich.

Aus Allem diesen geht hervor, daß es zwar in unserer Gewalt liegt,

sehr niedrige Temperaturen hervor zu bringen, daß aber erstens von dem gewöhnlichen Ausgangspunkt 0 Grad gezählt, eine Erhöhung der Temperatur um vielleicht 500 Mal mehr als eine Erniedrigung und daß sie nur für sehr kleine Quantitäten gelingt. Die Natur selbst bringt solche Kältegrade nicht hervor; wir sind zwar zu dem eigentlichen Kältepole noch nicht gelangt, allein wir sind in Sibirien und in Nordamerika doch nahe genug daran gewesen und die im Freien beobachtete Temperatur war niemals niedriger als 50 Grad. Eine Anwendung im Großen läßt sich von diesen Kältemischungen nicht machen.

Nutzeffecte der Wärme.

Kehren wir von diesen Mitteln zu einer Temperaturerniedrigung zu gelangen wieder zurück zu den chemischen Verbindungen, zur Verbrennung und der damit erzielten Hitze, so hat sich herausgestellt, daß ein jeder brennende Körper einem andern, den man in die erzeugte Gluth bringt, seine Temperatur mittheilt, nur darf der eingeführte Körper nicht zu groß sein.

Unzweifelhaft ist es, daß man in einer Lichtflamme Glas, ja sogar Eisendraht schmelzen kann; wer nun freilich einen fingerdicken Draht nehmen wollte, würde nicht viel vom Schmelzen zu sehen bekommen; ja, wer nur glaubte eine feine Stricknadel in der Lichtflamme zu schmelzen, würde irren; allein nimmt man diejenige feinste Sorte, welche von den Verfertigern künstlicher Blumen angewendet wird, so darf man ein Stückchen davon nur 2 Secunden in die Flamme einer Kerze halten, um zu sehen, daß das Ende sich in ein geschmolzenes Metallkügelchen verwandelt. Es muß, da hierzu etwa 1500 Grad Wärme gehören, diese Wärme wirklich vorhanden gewesen sein; multiplicirt man aber die Masse, welche geschmolzen werden kann, durch irgend einen Factor — etwa durch 10, so wird die Temperatur durch eben diese Zahl dividirt werden müssen, ein 10 Mal so dicker Draht wird also nur auf 150 Grad erwärmt, ein 100 Mal so dicker nur auf 15 Grad.

Hat man also große Massen zu erhitzen, so muß das Feuer auch ein um so größeres sein oder es muß durch Stoffe erhalten werden, welche eine um so intensivere Hitze geben, und wenn man diese verschiedenen Bedingungen gegen einander abgewogen hat, so wird man noch zu entscheiden haben, bei welcher Heizungsart man am wohlfeilsten und schnellsten zum Ziele kommt, dies Letztere nämlich legt ein bedeutendes Gewicht in die Wageschale; Zeit ist Geld. Wer Ziegel mit schlechtem, nassem Holze brennt, welches die Hälfte des Preises von anderem trockenen und gesunden hat, kann möglicher Weise etwas sparen, allein er wird doppelt so viel Zeit brauchen,

in dieſer doppelt ſo viel Tagelohn für die Arbeiter und er wird ſtatt dreier Brände innerhalb zweier Monate, nur zwei vornehmen können und hat ſo, trotz des wohlfeileren Materials, einen wirklichen Verluſt.

Trockenheit des Brennmaterials.

Es iſt daher in ökonomiſcher wie in techniſcher Hinſicht von größter Wichtigkeit, die verhältnißmäßige Wärmemenge zu kennen, welche man unter ſonſt gleichen Umſtänden durch verſchiedene Brennmaterialien erzeugen kann. Bei dem einfachſten Verſuch wird man ſofort wahrnehmen, daß bei zwei Parthien ganz gleicher Materialien, bei Torf aus demſelben Bruch, bei Holz von dem nämlichen Baum, die Trockenheit von weſentlichſtem Einfluß iſt. Wenn dieſe Subſtanzen trocken ſind, ſo wird ein Pfund Buchenholz drei Pfund Waſſer, ein Pfund Torf nur halb ſo viel in's Kochen bringen. Sind beide Materialien naß, ſo wird man mit einem Pfunde davon gar nichts in's Kochen bringen, es wird ſogar eine große Kunſt dazu gehören, es nur ſelbſt zum Verbrennen zu bringen, alle die Hitze, welche dieſe Materialien entwickeln, wird verbraucht, um den Waſſerdampf zu verjagen, damit nur überhaupt ein Brennen möglich ſei. Die Hitze aber, welche verwendet wird, um das Holz zum Brennen vorzubereiten, kann nicht gleichzeitig dienen, um etwas Anderes zu bewerkſtelligen; ſind ſo ſchlechte Materialien in großen Maſſen beiſammen, ſo erlangt man allerdings ſo viel, daß noch ein Nutzeffect übrig bleibt, allein er wird ſehr theuer. Mit 30 Pfund trocknen Föhrenholzes wird man ein mäßig großes Zimmer ſehr gut erheizen können, bei derſelben äußeren Temperatur wird man das gleiche Reſultat vielleicht kaum mit 60 Pfund naſſen Birkenholzes erzielen. Eigene Erfahrungen haben den Verfaſſer gelehrt, daß dieſe Verhältniſſe noch viel ungünſtiger ſind, daß er doppelt ſo viel Holz von doppelt ſo hohem Preiſe zwei Mal während 24 Stunden brauchte, weil es naß war.

Nehmen wir die verſchiedenen Brennmaterialien in möglich gutem Zuſtande in Unterſuchung und eine gewiſſe Wärmemenge als Einheit an, die nicht in Graden ausgedrückt zu werden braucht, weil nur eine Vergleichungsſcala gegeben werden ſoll, ſo iſt der Werth der brennbaren Subſtanzen folgender:

Schwefel, vollkommen verbrennend, liefert ſolcher Einheiten . . .	3
gewöhnliches lufttrocknes Holz liefert	5
recht guter Torf, vollkommen trocken	6
ganz trocknes Holz dagegen liefert	7
Terpentinöl, in gleichem Gewicht angewendet, giebt	9

Spiritus von 80 Procent etwas über 10
gemeine Steinkohlen entwickeln 12
Coaks von Torf (im verschlossenen Raum verkohlt) 13
Coaks von Steinkohle etwas über 13
gute Holzkohlen von jungem Holz geben 15
Phosphor liefert dieselbe Menge 15
Schwefeläther entwickelt solcher Einheiten 16
Talg vom Rind oder Hammel, gleichviel 17
Steinöl, Rapsöl, Olivenöl, Wachs, fast ganz gleichviel zwischen 18 u. 19
Wasserstoff, der leichteste von allen bekannten Körpern der Erde, entwickelt die größte Wärmemenge beim Verbrennen, ein gleiches Gewicht davon, wie von allen anderen, giebt solcher Einheiten . . . . . 47.

Die Tabelle ist vollkommen verständlich, wenn auch keine Réaumur'schen Grade dabei stehen. Um eine gewisse Wärme zu erzielen — gleichviel welche, um einen Hochofen zu beschicken oder um eine Gans zu braten, wird man doppelt so viel Torf brauchen als Steinkohle, und dreimal so viel Holz als gute Holzkohlen.

Die Tabelle sagt, Kohlen liefern mehr Hitze als das Holz, dies ist unzweifelhaft, nur möge man ja nicht glauben, sie geben mehr Hitze als das Holz, woraus sie bereitet sind. Würde es nicht Fälle geben, wo zur Feuerung nur Kohlen anwendbar sind (weil sie nicht Rauch erzeugen), würde es nicht Fälle geben, wo man das Holz nicht verwerthen, aus den Gebirgsschluchten nicht herab bringen könnte, so würde es Niemandem einfallen, Holz zu verkohlen. Ein Centner Kohle giebt dreimal so viel Hitze als ein Centner desselben Holzes, woraus die Kohle bereitet war, denn dies Holz betrug nicht 1 Centner, sondern 4 bis 5 Centner und hier ist nun gar nicht fraglich, was mehr Hitze giebt: 5 Centner trockenes Föhrenholz oder 1 Centner Kohlen davon, 4 Centner Buchenholz oder 1 Centner Buchenkohlen?

Wenn nun nach Obigem auch 1 Centner Holzkohle so viel Hitze giebt als 3 Centner Holz, so kostet er doch so viel als 4 bis 5 Centner Holz und deshalb kann es wohl nöthig oder räthlich sein, Kohlen unter gewissen Umständen anzuwenden, allein sparsam ist es nicht. Ein noch größerer Nachtheil findet bei Verbrennung des Coaks statt, indem dieser nicht einmal um ein Bedeutendes mehr Wärme giebt, also, wenn man denselben nicht als Nebenproduct, wie bei der Gasbereitung, gewönne, einen offenbaren Verlust herbeiführen würde.

Wärmeentstehung.

Die bisher betrachteten gewöhnlichsten Wärmequellen (Sonne, Reibung, chemische Verbindung) geben uns Veranlassung zu der Frage: wie entsteht denn die Wärme in diesen Wärmequellen? Die Sonne, wie es aus Polarisationsversuchen zu erhellen scheint, ein brennender Gasball, giebt uns Wärme ab durch Strahlung, allein wie entsteht eben ihre eigene Wärme (die sie uns giebt)? durch die Verbrennung? was entwickelt dort oder hier beim Holz, beim Kohlenfeuer diese Hitze? Wir stoßen hier, wie Munke sehr richtig sagt, auf unlösbare Räthsel und gelangen dadurch abermals zu der Ueberzeugung, daß das eigentliche Wesen der Dinge, auch wenn wir es blos auf unsere Erde, diesen winzigen Theil der ganzen Schöpfung, beziehen, uns noch immer verborgen ist.

Bei den meisten Verbrennungen entsteht allerdings eine Verdichtung, insofern die verbrannten Körper einen geringeren Raum einzunehmen pflegen, als die unverbrannten Elemente derselben und man könnte daher folgern, daß so viel Wärme frei werden müßte, als in diesem größeren Raume enthalten war. Allein hiergegen streiten einige Verbindungen, z. B. die des Weingeistes mit dem Wasser, des gebrannten Kalkes mit dem Wasser, die sich ausdehnen und dennoch Wärme frei machen. Bei dem Kalk sagt man allerdings, das Wasser wird in eine feste Substanz verwandelt und so verliert es seine Liquefactionswärme, dies erklärte wohl eine Erhöhung von 60 Grad, aber keine um mehrere hundert Grade. Beim Weingeist paßt diese Erklärung nicht einmal. Manche zusammengesetzte Körper haben eine geringere specifische Wärme, als die Bestandtheile, aus denen sie gebildet sind und es müßte daher bei ihrer Vermengung so viel Wärme frei werden, als dieser Unterschied beträgt; allein auch diese Annahme kann nicht als eine allgemein gültige betrachtet werden.

Beim gewöhnlichen Verbrennen wird Sauerstoffgas verzehrt und es lag daher sehr nahe, die erzeugte Wärme von der Verdichtung dieses Gases abzuleiten. Sollte dies in ganzer Strenge richtig sein, so müßte allezeit eine der verzehrten Sauerstoffmenge angemessene Quantität Wärme entbunden werden.

Obgleich nun ein solches Verhältniß keineswegs stattfindet, so durfte man doch immerhin annehmen, daß die brennbaren Substanzen, die das Sauerstoffgas aufnehmen, durch ihre Verdichtung die fehlende Menge von Wärme hergeben und es scheint dann wirklich, als ließe sich die ungeheure Hitze des *Knallgasgebläses aus* der starken Verdichtung der gemengten Gase

ableiten (s. Zimmermann, Erdball Th. III. S. 17). Allein gerade das Verbrennen dieses Gasgemenges, so wie aller explodirenden Körper, stellt der eben gedachten Ansicht ein unüberwindliches Hinderniß in den Weg.

Wenn Knallgas verpufft, so wird Wasser gebildet und wenn man die eigenthümliche Wärme beider Gase zusammen nimmt und sie mit der des entstandenen Wassers vergleicht, so ist die letztere so groß, daß Wärmeverminderung von 32 Grad entstehen müßte. Man könnte allerdings zu der Verdichtung der Gase seine Zuflucht nehmen, allein dies stimmt nicht mit dem eigentlichen Verhalten der Sache überein. Im Augenblicke der Explosion des Gasgemenges wird nämlich Wasserdampf gebildet, welcher bei mittlerer Temperatur dünner, also ausgedehnter ist als das Gasgemenge und während hiernach in Folge der Ausdehnung Wärme verschwinden müßte, so entsteht im Gegentheil Glühhitze mit bedeutender, gewaltsamer Ausdehnung.

Eben dies läßt sich anwenden auf die Explosion des Schießpulvers; woher aber vollends die mit einer plötzlichen gewaltsamen Ausdehnung verbundene Glühhitze der Knallsalze kommt, ist gar nicht zu enträthseln.

Wärme durch den Lebensprozeß.

Noch räthselhafter ist uns die dauernde, anhaltende Wärme, welche Thiere und Pflanzen durch ihre Vegetation und Reproduction entwickeln.

Alle Körper der Erde, wenn sie nicht Leben haben (lebend gewesene eben so gut wie unorganische), nehmen die Temperatur der Umgebung an; die Schauer, welche uns ergreifen beim Ansehen einer Leiche, bei dem Gefühle der Eiseskälte, welche von ihr ausgeht, sind nicht in den Thermometergraden, welche die Leiche zeigt, sondern in unserem Gefühl, unserer Phantasie begründet. Die Leiche ist nicht im Mindesten kälter als der Pfühl, worauf sie liegt; die zur Section vorbereitete Leiche des Selbstmörders nicht wärmer als die Marmorplatte, auf der sie das Messer des Prosectors erwartet.

(Wenn abgestorbene Körper in Verwesung oder in Gährung übergehen und dabei eigene Temperaturen entwickeln, so gehört dieses nicht in die Lehre von der Wärme durch den Lebensprozeß, sondern in das vorher abgehandelte Capitel von der Verbrennung, von der Verbindung chemisch verwandter Körper zu einem neuen.)

Lebende Körper aber haben nicht die Temperatur der Umgebung, sondern eine eigene, die sie aus sich selbst, wahrscheinlich vermöge des Stoffwechsels, produciren. Alle Thiere nehmen Nahrung zu sich und geben Excremente und Secretionen von sich, sie dünsten aus, sie schwitzen, sie werfen Speichel

aus, sie haben Abgang an Haaren, Nägeln, Haut. Dieser Abgang muß ersetzt werden, es werden dazu Stoffe aufgenommen, welche in die Körpersubstanz verwandelt werden und dieser Stoffwechsel bedingt die Eigenwärme.

Allerdings ist die Frage, ob denn wirklich allen Thieren Wärme innewohne, noch nicht beantwortet und es ist wohl möglich, daß sie niemals beantwortet werden wird, denn wie sehr auch unsere Beobachtungswerkzeuge sich nach und nach auf den Gipfelpunkt der Verfeinerung erheben, so dürfte es doch schwer sein, die Wärme der Infusorien, der Polypen, der Würmer und Weichthiere nachzuweisen, und wäre es nur deshalb, weil sie in einem Medium leben, welches ihnen die eigene Wärme sofort entführt; auch sind die kleinsten dieser Thiere beinahe lauter Oberfläche und wenn sie außerhalb des Wassers sind, verlieren sie durch die Verdunstung so viel von ihrer Wärme, daß man die ihnen innewohnende nicht zur Erscheinung kommen sehen kann.

Nachgewiesen, wiewohl in sehr geringem Grade, ist die Eigenwärme bei den Amphibien, z. B. den Schildkröten, den Fröschen. Bei den Schlangen, obschon diese einen ungemein langsamen Stoffwechsel haben, ist doch die Wärmeentwickelung größer als bei den andern Amphibien. Ob Fische eine eigene, durch den Lebensprozeß hervorgerufene Wärme haben, ist zweifelhaft gewesen, wiewohl schon zu Zeiten des Aristoteles die Wärmeentwickelung bei den Thunfischen (die sie allerdings am stärksten zeigen) bekannt war. Als man jedoch in Eisstücken eingeschlossene Fische lebend fand und bemerkte, daß um sie her ein größerer Raum befindlich als derjenige, den ihr Körper einnahm und daß dieser Raum mitten im Eise mit Wasser angefüllt war, da konnte man nichts Anderes denken, als daß die Lebenswärme der Fische dieses Wasser im Eise aufgethaut erhalten. Untersuchungen mit äußerst feinen Thermometern, deren Kügelchen nur die Größe eines kleinen Schrotkornes hatten, ergaben denn auch bei dem Fische eine von der Temperatur der Umgebung unabhängige Eigenwärme.

Daß Wallfisch, Narwal, Delphin ꝛc. recht eigentlich warmes Blut haben, darf man nicht auf Rechnung der Fische schieben, denn die gedachten Thiere sind so wenig wie die Seehunde und Seelöwen eigentliche Fische, sie haben nur im Munde des Volkes diesen Namen, es sind durch Lungen athmende, warmblütige, lebendig gebärende Säugethiere.

Was die Insecten betrifft, so ist ihre Masse allerdings so klein, daß man in sie hinein, auch unter Zerstörung ihres Körpers, in der Regel kein Thermometer bringen kann, außer etwa in den Leib eines großen Käfers, einer Maulwurfsgrille; beim Zusammensein aber bemerkt man außer allem Zweifel, daß *sie Wärme entwickeln*; ein Ameisenhaufen, ein Bienenkorb zeigt

am Thermometer die bedeutendste Wärmeentwickelung. Im Bienenkorbe wird sie durch Verschließen der Luftlöcher so groß, daß die Thiere davon sterben; eine solche Wärme, das Resultat des Zusammenseins vieler, leitet naturgemäß darauf, daß jedes einzelne Thier eine kleine Quantität Wärme entwickeln müsse. In den wunderbar verfeinerten thermoelektrischen Apparaten hat man aber jetzt Mittel gefunden, auch die Wärme des einzelnen Insectes zu untersuchen. Raupen, am Morgen in irgend einem Winkel eines Baumastes noch in Klumpen zusammenhängend, gaben dem hineingebrachten Thermometer deutlich Kunde von ihrer Eigenwärme, welche sich um mehrere Grade über die Temperatur der umgebenden Luft erhebt, mittelst des Thermomultiplicators aber kann man auch diese Thiere einzeln, hinsichtlich ihrer Wärmeentwickelung, beobachten und es unterliegt also eine solche keinem Zweifel mehr.

Am stärksten aber ist die Wärmeentwickelung bei den hiervon ihren allgemein bezeichnenden Namen herleitenden „warmblütigen" Thieren, bei den Säugethieren und bei den Vögeln, welche alle durch Lungen athmen, deren Leben also ein Verbrennungsprozeß ist.

Die Blutwärme der Säugethiere beträgt durchschnittlich 30 Grad R., die der Vögel 32 Grad; sie steigt bei den Raubvögeln auf 34 Grad. Natürlich ist bei diesen Bestimmungen nur von der Temperatur des Innern die Rede. Ein Thermometer mehrere Minuten lang in die Mundhöhle genommen, wird diese Temperatur zeigen, die Hand selten und bei bedeutender Erniedrigung der Lufttemperatur wird man die der Handwärme um 20 und mehr Grad sinken sehen; ein frisch geschlachtetes Thier zeigt in seinem Innern dieselbe Temperatur, ja der Blutstrom, welcher ihm entquillt, hat diese noch vollständig.

Winterschlaf.

Eine merkwürdige Ausnahme von dieser Regel machen diejenigen Thiere, welche einen Winterschlaf halten: Murmelthier, Hamster, Haselmaus, Lemming, Siebenschläfer, Fledermaus, Igel, Dachs, Bär u. a. Sobald der Herbst mit seinen Früchten ihnen eine reichlichere Nahrung geboten, sie feist, mitunter übermäßig fett gemacht hat, werden sie träge, sie wohnen in Höhlen, welche selten weniger als sieben Fuß in senkrechter Richtung unter dem Boden liegen; diese füttern sie sich auf das Schönste mit Kräutern, Moos, Haaren, Federn aus, viele sammeln sich auch einen Wintervorrath von Lebensmitteln. Sobald nunmehr die Temperatur aufhört, ihnen angenehm zu sein, *sobald sie unter* 7 bis 8 Grad R. sinkt, ziehen sie sich in diese Wohnungen

zurück, ſtopfen die dazu führenden Gänge mit Erde zu, rollen ſich auf ihrem Lager zuſammen und beginnen einen Schlaf, der bei einigen ohne Unterbrechung 5 Monate dauert; andere ſchlafen nur Wochen lang, werden durch den Hunger geweckt, gehen auch im Winter auf Nahrung und Beute aus oder verzehren einen Theil des geſammelten Vorrathes; die rechten Winterſchläfer aber thun dies nicht, in der zuſammengerollten Stellung, welche ſie am Anfange des Winters eingenommen, liegen ſie noch am Ende desſelben, ihr Athem wird immer langſamer und ſcheint endlich ganz aufzuhören, ihr Blutumlauf wird dem verſchwindenden Athem gleich, ſo langſam, daß er kaum mehr wahrzunehmen iſt, doch muß er, wie die Reſpiration, ſtattfinden, wenn ſchon bis zum Unbegreiflichen herabgedrückt.

Dieſe Thiere (und das iſt eben die Ausnahme, von der wir ſprachen) haben in dieſem Zuſtande keine bemerkbare Eigenwärme, ſie nehmen, wie ihr Lebensprozeß immer mehr herabſinkt, immer mehr die Temperatur ihres Wohnortes an, welche bei der großen Beſchränktheit des Raumes allerdings nicht die eigentliche Bodentemperatur, ſondern ein Gemiſch aus dieſer und der vielleicht anfänglich durch die eigene Wärme erregten, höheren iſt, dennoch ſchließlich eine ſo niedrige wird, daß ſie ſicher 15 Grad nicht überſteigt.

Merkwürdig iſt, daß ſie dabei keineswegs unempfindlich ſind gegen äußere Reize und daß es eines der kühnſten Wageſtücke der todesverachtenden amerikaniſchen Trappers (Fallenſteller und Jäger) iſt, einen Bären in ſeinem Winterſchlafe aufzuſuchen, d. h. in ſeine Höhle zu bringen und ihn dort zu erlegen. Die ſchlafenden Thiere werden durch Lichterſcheinung und durch Wärme am leichteſten geweckt, aber auch Stoßen, Rütteln giebt ihnen das Leben wieder.

Wenn die Frühlingswärme ihren Einfluß übt, welcher im Uebrigen bei einer Tiefe von 7 und mehr Fuß nur äußerſt gering ſein kann, ſo erwachen die Schläfer, ſcheinen wie betäubt, vermögen nur ſehr langſam ſich aus der gekrümmten Lage, in welcher ſie völlig ſteif geworden ſind, zu erlöſen; bei kleineren Thieren, welche man beobachten konnte, wie Dachs, Hamſter, Murmelthier, ſcheint die Gelenkſchmiere größtentheils aufgezehrt, denn jede Bewegung iſt von einem knarrenden Ton begleitet, die Thiere ſind faſt kraftlos, über alle Begriffe abgemagert, die ganze im Herbſt aufgeſammelte Fettlage iſt verzehrt, ſie ſind ſo ſchwach, daß ſie, wie betrunken, wanken und erſt nach Stunden langer Uebung des Gebrauches ihrer Glieder mächtig ſind.

Menschen bei niederer Temperatur.

Hier stehen wir an einer eigenthümlichen Grenzmarke in dem thierischen Leben, es ist noch nicht entschieden, ob ein Thier, welches sonst keinen Winterschlaf hat, unter geeigneten Umständen in denselben versetzt werden kann. Man sollte es fast meinen, indem das höchst organisirte Thier, der Mensch, sobald seine Lebensthätigkeit durch äußere Veranlassungen sehr herabgedrückt wird, Wochen lang, ja Monate lang ohne Nahrung im Schlafe verharren kann, wie man solcher Fälle mehrere aufgezeichnet findet; doch dem Gesagten viel näher stehen diejenigen schrecklichen Ereignisse, welche in der Schweiz und in Tyrol leider sehr häufig vorkommen, wo nämlich Menschen, die durch Staublavinen verschüttet worden, lange Zeit unter dem Schnee am Leben bleiben. Ein Fall machte ganz besonderes Aufsehen und soll Veranlassung zu einer Schrift über diesen Gegenstand gegeben haben. Drei Damen aus Turin wurden von einer Staublavine begraben und nach 37 Tagen erst erlöst, natürlich glaubte man nur ihre Leichen zu finden, aber zu nicht geringem Erstaunen ihrer Angehörigen waren alle am Leben, zwar abgemagert, doch keineswegs in dem Zustande, in welchem verhungernde Menschen gewöhnlich sind. Die Temperaturerniedrigung, der sie so unfreiwillig ausgesetzt gewesen, hatte den Lebensprozeß dergestalt herabgedrückt, daß sie nicht einmal Hunger gefühlt hatten.

In diesem aber, wie in vielen anderen Fällen, dem gedachten ganz ähnlich oder gleich, nur nicht in Hinsicht auf die Dauer, war das Bewußtsein nicht geschwunden, sie mochten wohl mehr geschlafen haben als unter anderen Umständen in derselben Zeit, allein sie waren nicht gleich den Murmelthieren so lange im Schlaf gewesen, als sie sich in der niederen Temperatur befanden.

Damals, wie später, bemerkte man bei solchen Personen eine bedeutende Herabstimmung der Temperatur, was mit der mangelnden Ernährung zusammenhängt, wahrscheinlich hat diese Beobachtung zu einem geistreichen physikalischen Romane Anlaß gegeben, welcher im Jahre 1844 die Welt von sich reden machte.

Aus Schweden kam die Nachricht herüber, ein Professor Grusselbäk habe zuerst mit Thieren, dann mit zum Tode verurtheilten Verbrechern Versuche über die Unterdrückung der Lebensthätigkeit und über die Zeitdauer, für welche dies möglich, gemacht und sei zu höchst merkwürdigen Resultaten gekommen. Er habe den einzuschläfernden Personen nach und *nach die* Wärme so entzogen, daß sie in Schlaf gesunken und darin

verblieben seien. Er beschrieb die Methode ziemlich genau und sagte, mittelst derselben habe er jetzt bereits mehr als ein Dutzend Personen, Männer sowohl als Frauen, im lebenden Zustande ohne Nahrung ein bis sechs Jahre lang erhalten, die Respiration, der Blutumlauf höre größtentheils, die peristaltische Bewegung des Magens, mit ihr die Verdauung, höre gänzlich auf, er habe es in seiner Gewalt, durch allmälige Zuführung von Wärme die Person beliebig wieder zu erwecken, durch Entziehung dieselben wieder einzuschläfern und er werde sehen, wie weit sich dies treiben lasse.

Es ist, so ernsthaft die Sache erzählt wurde und so sehr sie sich auf die Beobachtung stützt, daß Kälte die Lebensthätigkeit verringert, das Ganze doch nur ein Mährchen, allein es ist bei alledem höchst merkwürdig, bis zu welchem Grade die Verringerung der Lebensfunctionen getrieben werden kann.

Lebendig begrabene Brahmanen.

In Indien und zwar unter den eigentlichen Indiern, den Anbetern des Schiwa oder des Brahma, des Wischnu, gilt die Priesterkaste, die Brahmanen, für vollständig heilig und göttlich, die Abzeichen dieser Kaste geben ein viel größeres Ansehen als bei uns Ordenssterne und Fürstenrang. Der Fürst selbst küßt dem schmutzigsten Brahmanen in Ehrfurcht die Hand und die Fürbitte solcher Brahmanen hat bei Brahma ein solches Gewicht, daß ein Jeder, der dieser Fürbitte sicher ist, auch der Erfüllung gewiß sein kann.

Nun sind die reichen Indier höherer Kasten sehr sündhafte Menschen, alle Laster haften ihnen an und vor keinem Verbrechen beben sie zurück; wohl wissen sie, daß sie dafür eine Reihe von Jahrhunderten aus einem Thiere in das andere wandern und unbeschreibliche Qualen werden aushalten müssen, allein sie wissen auch, daß sie für ihr Geld Leute kaufen können, welche ihre Sünden abbüßen — eine äußerst bequeme Einrichtung. Solche Büßer, welche die Sünden eines Andern auf sich nehmen, sind Brahmanen, die vermögenslos sind; ein Gewerbe zu treiben, ist ihnen verboten und das verbietet ihnen überdies ihr geistlicher Hochmuth, sie dürfen nur betteln und Buße thun; dies letztere aber können sie sich bezahlen lassen und so büßen sie denn für Geld die Sünden des reichen Mannes ab, der dadurch vollkommen fleckenlos wird.

Es kann nicht der Zweck dieses Buches sein, solche Bußübungen zu beschreiben, die Martern, welche die Leute sich anthun, aufzuführen und die Wirkungen zu untersuchen, welche sie vielleicht auf das Seelenheil anderer Personen haben dürften, allein eine dieser Bußübungen ist zu nahe mit

unserem Gegenstande verwandt, als daß wir derselben nicht einige Zeilen widmen sollten.

Ein solcher Büßer läßt sich auf drei, vier, ja auf sechs Wochen begraben. Er ist überzeugt, daß es sein Leben nicht kosten wird, denn er trifft für die Erhaltung desselben sorgfältige Vorkehrungen und macht er drei bis vier solcher Bußübungen, so ist er dann für die fernere Dauer seines Lebens ein sehr reicher Mann, denn Geld lassen die Kschatrija's (die Fürsten- und Kriegerkaste) es sich kosten, 100,000 Rupien sind der Preis für eine solche Entsündigungsarbeit (ungefähr 60,000 Thaler).

Eine Grube, 3 Fuß breit, 6 Fuß lang und 10 bis 12 Fuß tief, wird an ihrem unteren Theile mit Harz ausgegossen, worauf man Steinplatten legt. Die Seitenwände werden bis zur Höhe von 3 Fuß am Boden eben so getäfelt. Die Grube bleibt bis zur Vollendung der Vorbereitungen offen, dem Sonnenschein ausgesetzt.

Der Büßer beginnt damit, daß er sich eine sehr strenge Diät auflegt (überhaupt essen die vornehmen Kasten der Indier, Brahmanen, Kschatrija's und Waiçja's nur Vegetabilien, niemals Fleisch, ja niemals selbst nur ein Ei), mit jedem Tage weniger und trocknere Nahrung zu sich nimmt, mit jedem Tage weniger trinkt, bis er so weit gekommen ist, daß er Alles, was er verzehrt, auch mit seinem Körper assimilirt, ohne etwas von sich zu geben, auf welchem Wege es auch sei. Nunmehr wird zum Beginn der Buße selbst geschritten: der Büßer setzt sich, nur mit einem wollenen Teppich versehen, in die ausgemauerte Grube. Man legt ihm ein paar Hände voll Reis hinein, ein Krug Wasser kommt dazu und dann wird die Grube mit Steinen geschlossen, die Fugen werden sorgfältig verkittet, mit Harz übergossen; es geschieht dies, um die großen weißen Ameisen, die Termiten abzuhalten.

Die Grube wird mit Erde vollgefüllt und nach der verabredeten Zeit erst wird sie geöffnet.

Gewöhnlich hat der Büßer seinen Vorrath an Getränken und Speisen nicht zur Hälfte aufgezehrt. Man findet ihn in tiefem Schlafe, aus welchem nur langsam die zutretende Luft und wiederholte Besprengung mit warmem Wasser ihn erweckt. Die Sache hat englische Aerzte interessirt und sie haben Temperatur und Puls untersucht, beide sehr herab gestimmt gefunden, sonst aber keinen krankhaften Zustand bemerkt. Die Büßer, welche wie betäubt sind, nehmen jetzt ein sehr geringes Quantum flüssiger Nahrung zu sich, Milch, Reisschleim, Fruchtsäfte und steigen nach und nach bis zu ihrer gewöhnlichen Diät.

Ein solcher Büßer, der 40 Tage in seinem steinernen Sarge zugebracht

hatte, erklärte, wenn man ihm noch 100,000 Rupien gäbe, so lasse er sich sofort von Neuem auf die gleiche Zeitdauer begraben.

Es lehrt uns diese Eigenthümlichkeit in der thierischen Oeconomie, daß die Wärme des thierischen Körpers mit dem Einnehmen von Nahrung und dem daraus hervorgehenden Stoffwechsel gleichen Schritt halte. Im gewöhnlichen Zustande haben die Säugethiere und Vögel eine gewisse, sich stets gleichbleibende Temperatur, in dem Zustande größeren Verbrauchs und geringerer Zufuhr nimmt die Temperatur immer mehr ab, so beim Winterschläfer bis auf 15 Grad, so beim Scheintodten bis auf die Temperatur der Umgebung.

Die Temperatur, deren Höhe bereits angegeben ist, bleibt so außerordentlich constant, daß Jugend oder Alter, Gesundheit oder Krankheit fast gar keinen Unterschied machen. Man findet auf alten Thermometern einige merkwürdige Temperaturen schriftlich vermerkt: Kellerwärme, Blutwärme, Fieberhitze, Hitze am Senegal (die beiden letzteren beinahe vollkommen gleich), das ist Aberglaube. Der im Fieberfrost wie in der Fieberhitze Liegende hat 30—31 Grad Wärme und im gesunden Zustande nicht weniger, noch mehr, nur bei Kindern findet so wie bei sehr alten Personen ein Wechsel statt, der jedoch auch 2 Grad nicht überschreitet.

Widerstandsfähigkeit gegen Temperatureinflüsse.

Der Mensch aber besitzt das höchst merkwürdige Vermögen, äußerer Kälte und Wärme auf eine unglaubliche Weise widerstehen zu können, weil er seine Temperatur sich selbst macht. In Hinsicht auf Ertragen der Kälte kommen viele Thiere ihm nicht nur gleich, sie übertreffen ihn sogar, alle diejenigen, welche den hohen Norden bewohnen (die südlichen Polargegenden haben keine Landbewohner), dauern bei der furchtbaren Kälte von 45 Grad unter 0 aus und, wie es scheint, ohne Beschwerde. Allerdings haben sie treffliche Pelze, um deren willen der Mensch sie so sehr beneidet, daß es ihm nicht darauf ankommt, sie zu tödten und ihnen das Fell über die Ohren zu ziehen. Der blaue Fuchs, der weiße Wolf, der Zobel haben gar warme Kleider, jedoch die Pelze allein thun es auch nicht, denn wenn ein Mensch zwei solche Kleider über einander anzöge, wie die Bewohner des ganzen nördlichen Asien es thun, das feinere Pelzwerk nach innen, das gröbere nach außen, so dürfte derselbe sich doch nimmermehr im Freien bei 45 Grad Kälte schlafen legen, er müßte denn die Absicht haben, nicht wieder zu erwachen. Das Thier erträgt diese Kälte. Der Eisbär taucht aus dem Meere auf, in welchem er vielleicht einen ganzen Tag zugebracht, er klettert an den *Eisschollen empor*, in wenigen Minuten ist er von einem dicken

Eispanzer umhangen, das Wasser in den dicken Zotteln seines Felles gefriert, seine Haut ist demnach trotz des Pelzes oder vielmehr gerade durch diesen Pelz in innigster Berührung mit dem Eise; allein dies rührt ihn nicht, sein Magen ist ein so gut construirter Ofen, daß die grimmige Kälte ihn nicht dämpft. Ja wir brauchen nicht einmal so weit zu gehen, jedes unserer Hausthiere (welche doch nicht mehr im Naturzustande leben, also verwöhnt sind) erträgt die Kälte einer Winternacht ohne Schaden für seine Gliedmaßen oder sein Leben, und was das Wild betrifft, welches von dem Naturzustande noch nicht entwöhnt ist, so muß man erstaunen, daß Hirsch und Reh (nicht durch einen so schönen Pelz gegen den Frost geschützt wie der Fuchs und der Wolf) unseren Winter so gut ertragen; allein die Erfahrung lehrt es, und was man von Vögeln erzählt, welche bei großer Kälte todt aus der Luft herabgefallen sind, so ist dies nichts weiter als ein Mährchen: so lange das Thier in Bewegung ist, kann ihm der Frost nichts anhaben; jedoch wenn es ruht und wenn es nicht Nahrung hat, um daraus Wärme zu erzeugen, dann kann ein Erfrieren allerdings geschehen. Doch hier ist eben der Grund ein anderer, nicht der Frost tödtet das Thier, sondern der Mangel an Ersatzmannschaften, welche dem von außen andringenden Feinde entgegen gestellt werden sollen.

Schlecht bekleidet kann der Mensch nur wenig Kälte ertragen, doch hinlänglich genährt und in Bewegung vermag er auch in dem Falle einer kaum zureichenden Hülle einer Kälte von 6 bis 10 Grad zu widerstehen, auf angemessene Weise verwahrt aber kann er trotz dem nordischen Fuchs und Wolf Temperaturen von 35 bis 40 Grad unbeschadet ertragen.

Wir haben im mittleren Europa in dem Winter vom Jahre 1829 auf 1830 Monate lang 20 Grad unter 0 gehabt, wiederholt auf einige Wochen — 25, ja einmal in Stuttgart — 29 und in Berlin (welches nur 100 Fuß über dem Meeresspiegel liegt, also ein milderes Klima hat als das 1200 bis 1500 Fuß hoch gelegene mittlere Deutschland) doch auch — 28 Grad, dennoch ist nicht bekannt geworden, daß mehr Menschen erfroren sind als in anderen Wintern, ja man hatte sich nach und nach an die strenge Kälte so gewöhnt, daß, als im März 1830 die Kälte sich verringerte und nur noch — 12 Grad betrug, man dies für milde Witterung, gewissermaßen für eine Art von Thauwetter nahm und sich weniger warm kleidete.

In den sehr nördlich gelegenen Gegenden, in denen die Eskimo's, die Finnen und Lappen oder ihnen stammverwandte Völker wohnen, pflegt man allerdings sogar die Augen zu bedecken, durch Brillen aus feinen Fischbeinstreifen, *die ein Gitter* vor dem Auge bilden, allein nicht der Kälte wegen, sondern

wegen des blendenden Schnees; diese Brillen tragen die Grönländer ꝛc. nicht im Winter, sondern im Sommer. Im Winter ist es bei ihnen größtenheils Nacht und obwohl es sehr kalt ist, frieren doch Niemandem die Augen aus; im Sommer aber, d. h. am Anfange und am Ende desselben, wo die aufsteigende und die wieder Abschied nehmende Sonne keine Erde, sondern nur Schneefelder bescheint, blenden ihre Strahlen so sehr, daß häufig Blindheit, d. h. Empfindungslosigkeit gegen Lichteindrücke eintritt und gegen diese schützt man sich durch die gedachten Brillen. Zu der Zeit, wo selbst unter dem 72sten Grade nördlicher Breite noch Hafer reift, bedarf man dieser Brillen so wenig als im Winter.

Erfrieren.

In unseren Gegenden sind Todesfälle durch Erfrieren gar nicht so selten, als man bei dem milden Klima glauben sollte; es sind Fälle vorgekommen, wo man einen armen Handwerksburschen am Wege für immer entschlafen fand, da die Nacht doch thatsächlich nur eine Temperatur von — 1 Grad hatte. Das sind denn solche Fälle, wo bei schlechter Bekleidung die gleichfalls schlechte Nahrung nicht ausreichte, um den Temperaturabgang zu ersetzen.

Geht man unter solchen Umständen eines weiten Weges, wird man (wie dies nicht anders sein kann) müde, so tritt ein Zustand von Betäubung ein, der große Aehnlichkeit mit einem Rausch hat, solche Leute reden irre, verlieren die Besinnung, gehen in diesem Rausch wohl durch ein Dorf, wo sie im ersten besten Hause Rettung fänden, allein sie sehen und hören nicht, ihre Betäubung nimmt mit jedem Schritte zu, endlich setzen sie sich vor Ermüdung und fallen sofort in den wohlthuendsten Schlaf, der mit unbeschreiblichem Entzücken erfüllt, süße, liebliche Träume bringt und in diesen den letzten Freund des Menschen, den Tod.

Es scheint, als könne dies Niemand wissen, da Todte nicht viel über die dem Sterben vorangegangenen Zustände zu erzählen pflegen, dem denkenden Leser aber darf man wohl kaum sagen, daß die Berichte darüber von solchen Personen herrühren, welche man erstarrt gefunden, aber wieder ins Leben zurückgerufen hat; je nach dem Bildungsgrade derselben und dem Mittheilungsvermögen sind die Mittheilungen über den Zustand vor dem eigentlichen Einschlafen verschieden, alle aber sind darin übereinstimmend, daß sie nicht genug die beglückenden, überaus angenehmen Empfindungen preisen können, welche dem Schlafe vorhergehen; dies ist auch der Grund, warum wenige von den Personen, welche in diesen traurigen Fall kommen, der Rei-

gung zum Schlafe widerstehen; würde das Vorgefühl desselben minder angenehm oder würde der Frost, der die Betäubung hervorbringt, mit Schmerzen in den Gliedmaßen verbunden sein, so würden die Gefährdeten dem Schlafe nicht nachgeben.

Ertragen großer Hitze.

Im Gegensatz zu dem bisher Gesagten steht die mehr oder minder hohe Temperatur, welche Menschen und Thiere ertragen können. Man hat directe Versuche über diesen Gegenstand gemacht; wir wollen nicht die Gaukeleien von Leuten anführen, welche sich mit ihren Kunststücken für Geld sehen lassen, hier ist es immer auf Täuschung des Publikums abgesehen, das kochende Oel, in welchem ein zinnerner Löffel schmilzt und welches der Kunststückmacher angeblich mit Behagen trinkt, ist nicht kochend, es ist nicht heißer als der Kaffee, den die Dame zum Frühstück schlürft, denn der zinnerne Löffel ist nicht von Zinn, sondern von Rose'schem Metallgemisch gemacht und das glühende Eisen berührt nicht die Hand oder den Fuß, sondern einen Handschuh aus Eiweiß und Alaun. Allein in der Mitte des vorigen Jahrhunderts sind von mehreren Gelehrten wissenschaftliche Untersuchungen hierüber gemacht.

Der Engländer Fordyce ließ ein Zimmer durch heiße Wasserdämpfe heizen und brachte in einer Temperatur von 110, später von 120 Grad 20 Minuten lang zu. Dies klingt sehr „graulich", es will aber nicht viel sagen, denn in unsere Sprache übersetzt heißt es weiter nichts als: er konnte 50 Grad C. ertragen, 40 Grad bringt uns ein warmer Sommertag im Sonnenschein nicht gerade selten.

Später vereinigten sich Banks, Solander und Fordyce zu solchen Versuchen, sie ließen ein kleines Zimmer durch einen eisernen Ofen auf eine bedeutende Temperatur bringen, sie fingen mit 150 Grad (65 Grad C.) an, stiegen auf 198 Grad (93 Grad C.) und hielten zuletzt bei 212, d. h. bei dem Siedepunkt des Wassers (100 Grad C. oder 80 Grad R.) aus und Banks getraute sich, noch höhere Wärmegrade zu ertragen, obschon die Temperatur der Flüssigkeiten kaum annäherungsweise zu solcher Höhe zu ertragen waren, nämlich Weingeist nur bis zu 55 Grad C., eben so Oel, Wasser nur bis zu 50 Grad und Quecksilber nur bis zu 47 Grad C.

In dem Zimmer konnte Niemand seine Uhrkette anfassen und die Versuche waren so auffallend, daß man die Gelehrten, welche sich denselben ausgesetzt hatten, „die drei Männer im feurigen Ofen" nannte.

Höchst merkwürdig ist hierbei, daß die Temperatur ihres Körpers sich

nicht um eine bemerkbare Größe änderte und daß diejenigen Aenderungen, welche man allenfalls zu finden glaubte, ſich ſehr wohl auf Beobachtungsfehler ſchieben laſſen. Es ſcheint dies darin ſeinen Grund zu haben, daß die Ausdünſtung ungemein befördert wurde, wodurch, da zum Verwandeln von Flüſſigkeiten in Dampf viel Wärme erfordert wird, die dem Körper von außen zugeführte ſehr leicht verbraucht werden konnte.

Bei Verſuchen über die Blutwärme verſchiedener Thiere fand man, daß Tauben, Hühner, Enten 43 bis 44 Grad C. haben, Käuzchen nur 40 Grad, Weihen nur 37 Grad (Fleiſchfreſſer alſo weniger), daß ferner Ziegen, Rinder, Hirſche, überhaupt die Wiederkäuer unter den Säugethieren das wärmſte Blut haben, 39 bis 40 Grad C. (31 bis 32 Grad R.), Katzen, Tiger, Panther nur 37 bis 38 Grad (kaum 30 bis 31 Grad R.). Von den Amphibien zeigten die Schlangen die höchſte Temperatur, 31 Grad C., Schildkröten 29 Grad, Kropfeidechſen (Iguana) 25 Grad, bei einer Lufttemperatur, welche durchweg 2 bis 4 Grad niedriger war. Fiſche, in ſehr verſchiedenen Flüſſen unterſucht, hatten immer 2 Grad mehr als das Waſſer. Mollusken hatten gerade ſo viel als das umgebende Mittel, Cruſtaceen ſogar etwas weniger (einige zehntel Grade), Inſecten durchſchnittlich $^3/_4$ bis 1 Grad mehr als die umgebende Luft.

Urſache der thieriſchen Wärme.

Es iſt beinahe drollig anzuſehen, wie ſich die früheren Phyſiker abgearbeitet haben, um die Urſache der thieriſchen Wärme zu erklären. Hamberger leitete dieſelbe noch in der Mitte des vorigen Jahrhunderts von der Auflöſung der ſchwefelartigen Theile in den laugenartigen des Blutes her und vergleicht den menſchlichen Körper mit einem Haufen Taubendünger, welcher ſich auch von ſelbſt erhitzt. Eine ganz ähnliche Erklärung geben viele engliſche Aerzte, indem ſie die Neigung des Blutes, in Fäulniß überzugehen, hervorhoben und die Wärme von dieſer ſtets beginnenden, im Werden begriffenen Fäulniß ableiteten. Es iſt kaum nöthig, das zu widerlegen, es wurde auch ſchon damals nirgends anders als in England behauptet, ſonſt überall als abſurd verworfen, da gerade der Lebensprozeß die Fäulniß hindert und beginnende Fäulniß das einzig ſichere Zeichen aufhörenden Lebens iſt.

Eben ſo ſonderbar iſt, was Boerhave und ſeine Schüler behaupten, daß nämlich die Bewegung des Blutes in den Röhren (Adern) die Wärme erzeuge. Er ſtützt ſeine Behauptung darauf, daß Perſonen, welche ſich lebhaft bewegen, laufen, tanzen, wärmer ſind als ruhende (unwahr, ſie wans-

piriren, aber ihr Blut ist nicht heißer, es drängt sich nur mehr gegen die Peripherie und erhöht also die Temperatur der Haut um einen oder ein paar Grad, aber nicht die des inneren Körpers; ja wenn Schweiß eintritt, wird die Haut sogar kälter, indem ihr die Verdunstungswärme entzogen wird), daß Alter und Krankheit, welche die Pulsschläge vermindern, auch die Temperatur herabdrücken ꝛc. Er schloß aus diesen oberflächlichen oder falsch gedeuteten Beobachtungen, daß die Wärme des Blutes sich direct verhalte wie die Geschwindigkeit des Blutes und umgekehrt wie der Durchmesser der Gefäße; dadurch ward erklärt, warum die Wärme in den verschiedenen Theilen des Körpers fast einerlei sei, weil in den größeren Gefäßen das Blut schneller, aber mit weniger Widerstand circulire, was sich in den kleineren Gefäßen dadurch compensire, daß sie dem weniger schnell bewegten Blute größeren Widerstand entgegen setzten; dies sollte auch erklären, warum kleine Thiere, Wiesel, Mäuse, eben so warmes Blut haben als Elephanten.

Nun aber ist Geschwindigkeit und Reibung des Blutes an den Wänden viel zu schwach, um solch einen Effect hervorzubringen; vor allen Dingen aber ist auch bei der lebhaftesten Bewegung von Flüssigkeiten in Röhren die Reibung so gering, daß von einer Temperaturerhöhung durch dieselbe keine Rede ist. Uebrigens folgt die thierische Wärme auch gar nicht der Pulsgeschwindigkeit, wenn in der Fieberhitze die Pulsgeschwindigkeit von 70 auf 130 Grad steigt, also sich beinahe verdoppelt, so erhebt sich die Blutwärme höchstens um 2 Grad, ja mitunter gar nicht und einige practische Aerzte haben sogar eine Abnahme der Wärme im Fieber bemerkt. Die oben genannten Naturforscher, welche sich der Luft bei der Siedehitze des Wassers aussetzten, bemerkten, daß ihr Puls auf 144 Schläge in der Minute stieg, indeß die Temperatur ihres Blutes dieselbe blieb.

Der schottische Arzt Robert Douglas ging nun so weit, die Wärme des Blutes aus der Reibung der festen Theile darin zu erklären. Das Blut enthält Blutkügelchen, diese haben eine gewisse Größe, die feinsten Haargefäße des thierischen Körpers haben nicht Weite genug, um diese Blutkügelchen frei durchzulassen, sie müssen sich durchdrängen und dies giebt eine so starke Reibung, daß daraus Entzündungen entstehen könnten, wenn nicht Flüssigkeiten die Blutkügelchen umgeben und den Brand löschen würden; Entzündung und Brand in der mediciniſchen Bedeutung seien aber nichts weiter als die Folgen der verstärkten Reibung krankhaft vergrößerter Blut-

lügelchen einerten Gefäßen.

richtige, so müßten die Frösche die höchste

lügelchen sind im Verhältniß zu den Co-

pillargefäßen so groß, daß sie sich beim Durchlaufen derselben oval drücken müssen, um durchzukommen.

Daß die Elektricität unter den Ursachen der thierischen Wärme nicht fehlen würde, war vorauszusehen, sie hat das Schicksal der etwas lebhaften Kinder, welche auch zum Sündenbock für alle üblen Thaten Anderer hergenommen und Alles gethan haben müssen, wofür man den rechten Thäter nicht findet. Die Elektricität soll in den Thieren die Wärme erregen, aber diejenigen Thiere, welche die furchtbarste Elektricitätsentwicklung zeigen, Zitterrochen und Zitteraal, sind kaltblütige Thiere; also wieder eine Erklärung, die sich in nichts auflöst.

Neuere Ansichten.

Die neuere Physiologie, unterstützt von der Chemie, hat, wie es scheint, das Wahre gefunden, sie erklärt die Wärme für ein Product eines chemischen Zersetzungs-, eines Verbrennungsprozesses. Der Feuerheerd ist die Lunge, die Körper, welche verbraucht werden, sind Sauerstoff und Kohle. Athmung heißt der Verbrennungsprozeß selbst, je lebhafter dieser ist, desto größer ist die Blutwärme, darum bei Fischen, welche nach unsern Begriffen gar nicht athmen (wiewohl sie den Sauerstoff der Luft, welcher im Wasser enthalten ist, durch ihre Kiemen aussondern), weil sie keine Lungen haben, die Temperatur am niedrigsten, bei Vögeln, welche die ausgedehntesten Lungen, wahre Luftsäcke besitzen, am größten.

In der Nahrung der warmblütigen Thiere befindet sich eine sehr große Menge Kohlenstoff, am meisten in den Pflanzen und deren Früchten, doch auch im Fleische sehr viel, wenn schon weniger als in den Pflanzenstoffen. In der Luft, welche zum Athmen dient, sind in der Regel 21 Hunderttheile Sauerstoffgas enthalten. Sie werden zum großen Theil mit der Kohle des Blutes verbunden und gehen als Kohlensäure mit der ausgeathmeten Luft fort.

Es findet also in dem Körper der Thiere ein Prozeß statt, welcher der Verwandlung der Kohlen gleich ist, die wir unter Wärme- und Lichtentwicklung in der freien Luft wahrnehmen und die wir Verbrennung nennen; man bezeichnet daher ganz richtig den Lebensprozeß als einen langsamen Verbrennungsprozeß, bei welchem eine Temperaturerhöhung unausbleiblich und die natürliche Folge der Verbrennung ist, aber eine niedrige t, weil die Verbrennung nicht mit Flamme oder Gluth vor sich geht.

Höchst merkwürdig ist die großartige Wechselwirkung alles Lebens in

In dem gegenwärtigen Falle findet zwischen Pflanzen und

Thieren ein solcher Austausch der Stoffe statt, daß sie sich in der Oeconomie der Natur, in dem Haushalt der Erde das Gleichgewicht halten.

Kohlensäure ist in der Luft, in einem das thierische Leben nicht beeinträchtigenden Maße vorhanden, allein wenn sie gegenwärtig nur etwa $^1/_{10}$ pCt. beträgt, so wird doch durch den Athmungsprozeß vieler Milliarden Thiere und durch den Verbrennungsprozeß jedes Feuerheerdes, desjenigen, der mit dem Seehundsthran der Samojeden genährt ist, wie desjenigen, auf dem die Blattrippen der Cocospalmen oder die Stämme der Eiche und Buche brennen, die Kohlensäure in einem beunruhigenden Maße vermehrt. Aus einem Tausendtheil mußten bald zwei, zehn werden, ein Procent ist schon viel, das Fünffache hiervon macht die Luft beinahe unbrauchbar für die Erhaltung des thierischen Lebens.

Da kommt uns eine jener weisen Anordnungen in der Natur zu Hülfe, nach welcher, was dem einen schädlich, dem andern sehr nützlich ist. Das Wasser ist sehr begierig nach Kohlensäure und nimmt davon viel aus der Luft auf, die Pflanzen aber nehmen aus der Luft und dem Wasser die Kohlensäure in solcher Menge in ihre Substanz auf, daß hierdurch das bewegliche Gleichgewicht der Elementarverhältnisse in der atmosphärischen Luft erhalten wird.

Was an Kohlensäure durch den langsamen oder raschen Verbrennungsprozeß erzeugt wird, das geht in die Pflanzen über, welche diese Verbindung zersetzen und den Kohlenstoff binden, indeß sie den Sauerstoff frei machen; was die Thiere an Kohle consumiren, das verbinden sie zum großen Theil mit dem Sauerstoff der Luft, welche sie einathmen, zu Kohlensäure.

Athmungsprozeß. Ernährung.

Man kann nicht läugnen, daß die Verbrennung der Kohle durch den Prozeß des Einathmens nicht etwas so Einfaches als das Verbrennen der Kohle in Sauerstoffgas sei, im Ganzen sind jedoch beide dem Wesen nach vollkommen gleich und besondere deswegen angestellte Versuche haben sogar bewiesen, daß gleiche Mengen durch das Athmen gebildeter Kohlensäure *etwas mehr Wärme* erzeugen als die durch das Verbrennen entstandene, was auch stattfinden muß, da im Lebensprozeß noch andere, die Wärmeerzeugung befördernde Bedingungen, namentlich und vorzugsweise Bildung von Wasser, durch Verbindung des Wasserstoffes mit Sauerstoff, vorhanden sind.

Das *Einathmen* der Luft ist natürlich nicht der wärmeerzeugende, sondern der damit verbundene chemische Prozeß. Das Einathmen kann durch *künstliche Reize* sowohl bei todten Thieren bewerkstelligt werden, als man

es auch durch mechanische Mittel in seiner Gewalt hat. Dies aber erweckt das todte Thier nicht und erwärmt es auch nicht. Der chemische Prozeß aber, welcher die Wärmeentwicklung in seinem Gefolge hat, findet bei todten Thieren nicht mehr statt, diese gehen nicht Verbindungen, sondern Zersetzungen ein. Die chemische Verbindung aber des Kohlenstoffes im Blute mit dem Sauerstoff der Luft wird durch den Lebensprozeß innerhalb der Lunge bewerkstelligt. Das schwarze Blut, welches aus dem Herz in die Lunge tritt, wird in dieser durch den Athemzug entkohlt, aus venösem Blute in arterielles verwandelt und kehrt als solches, fähig den Körper zu ernähren, in die andere Herzkammer zurück, um aus dieser durch die Pulsadern bis in die fernsten Theile des Körpers getrieben zu werden. Durch die Nahrung werden die Stoffe aufgenommen, welche für den thierischen Körper nothwendig sind, durch die Verdauungswerkzeuge werden sie so verkleinert, mit Speichel, Galle ꝛc. gemischt, daß sie, zu den Milchgefäßen gelangend, von diesen ausgesogen werden können, worauf der Milchsaft dem Blute zugeführt wird. Ein fortwährender Zu- und Abgang findet auf solche Weise statt, die Hauptumwandlung geschieht endlich durch die Berührung des Blutes mit dem Sauerstoff der Atmosphäre in den weiten Zellen der Lunge.

Stoffwechsel.

Beides, Ernährung und Befreiung von zu vielem Kohlenstoff, ist Bedingung des Lebens; wo die Oxydation fehlt, ist das Arterienblut schwarz und träge, wo sie in genügendem Maße vorhanden, ist das Blut von einer prächtigen dunkelrothen Farbe. Wo Nahrung und Respiration in richtigem Verhältniß stehen, findet dasselbe statt, wo Ernährung zurückbleibt, die Oxydation fortschreitet, da ist Schwindsucht. Bei kräftigem Lebensprozesse, genügender Ernährung und Oxydation findet eine stärkere Wärmeentwicklung statt, wo die Natur diese nicht verlangt, tritt bald eine große Trägheit ein. So ist es bei den Bewohnern der warmen und heißen Erdstriche, sie sind nachlässig, gleichgültig, träge bis zur völligen Arbeitsscheu, der Spanier, der Italiener arbeitet nur, wenn er muß, nur durch den Hunger getrieben, dann arbeitet er in Wuth, in wahrem Berserkerzorn darüber, daß er arbeiten muß, dreimal mehr als der Nordländer; hat er nun aber so viel verdient, um drei Tage zu essen und zu trinken, dann bekommt ihn Niemand wieder an die Arbeit, bevor das Geld nicht verausgabt ist und er nicht nachträglich noch zwei Tage gehungert hat.

Auch die Thiere der heißen Zone sind nicht gefräßig, darum aber auch in ihrem Fleisch *und z. B. bei Kühen*, Ziegen, Schafen in der Milch nicht

productiv. Schon in Ungarn hält man Kühe nicht mehr des Butter- und Käseertrages wegen; wo es kälter ist, da nimmt das Gethier viel mehr zu sich; der Oeconom weiß sehr wohl, daß er seinen Viehstand während des Winters besser versorgen muß.

Der Mensch im nördlichen Europa (Ostseeländer und Nordseeländer) verzehrt dreimal so viel als der Italiener und sechsmal so viel als der Indier; noch mehr nimmt der Bewohner der Polarkreise zu sich und da er um der Wärmeerzeugung willen, die bei ihm stärker sein muß als bei dem Südländer, stärkerer Respirationsmittel bedarf, so hat die Natur ihn auf ungemein kohlenstoffhaltige Nahrungsmittel, auf thierisches Fett, Seehundsspeck ꝛc. angewiesen; dies zu verbrennen, braucht er viel Sauerstoff, seine Lungenthätigkeit ist sehr groß und daher seine bedeutende Wärmeentwicklung.

Daß nun doch in allen Zonen und unter den verschiedensten Umständen die Blutwärme der höheren Thiergattungen immer dieselbe ist, wenigstens nur sehr geringe Abweichungen stattfinden, kommt von einer vielfach genannten, aber zur Verzweiflung aller Physiologen noch nirgends aufgewiesenen Thätigkeit, kommt von der Lebenskraft her, einem harmonischen Zusammenwirken aller Kräfte zu einem gemeinsamen Zwecke, zum Aufrechthalten des Organismus.

Der Verfasser fühlt wohl, daß hiermit nichts erklärt sei, er giebt diese Worte jedoch auch nicht für eine Erklärung aus, sondern gesteht, daß er keine Erklärung habe für das, was man unter dem Worte Lebenskraft Alles zusammenfaßt und wovon die Erhaltung der thierischen Wärme auf einer überall und immer gleichen Stufe nur ein höchst untergeordneter Theil ist.

Wärme und Vegetation.

So unerläßlich die Wärme für den thierischen Körper ist, eben so nothwendig ist sie für die Pflanze. So wie das thierische Leben erstirbt, so auch das Pflanzenleben, wenn ihm die unerläßliche Bedingung des Lebens, die Wärme, bis zu einem gewissen Grade entzogen wird. Wo diese Kraft nur in geringer Menge auftritt, da ist die Vegetation eine nur dürftige, je höher die Temperatur eines Landes, nicht sowohl die sonst fast allein beachtete mittlere, sondern die extreme die Sommertemperatur ist, desto lebhafter ist die Vegetation, wenn die beiden andern Bedingungen, Nahrung und Feuchtigkeit nicht fehlen, diese allein ohne die Wärme bewirken nichts. Die Quellen von Island durchfurchen einen vulkanischen Boden, der, wie jeder aus der Lava entstandene, höchst fruchtbar ist, allein eben da, wo die Quellen ihr Wasser ergießen und wo in unseren Regionen die Bedingungen

zum üppigsten Pflanzenwuchs gegeben wären, ist dort Alles starr und todt, weil die erste Lebensbedingung für die Pflanze, weil die Wärme fehlt, die Quellen haben die mittlere Bodentemperatur und diese steht dicht an der Grenze des Gefrierpunktes.

Wir können zwar die Wärme nicht messen, welche ein keimendes Gerstenkorn entwickelt, sehr bemerkbar wird sie aber, wenn man die vielen Kleinigkeiten von Wärme zu einer Summe addirt, diese spricht sich am Thermometer in vielen Graden recht deutlich aus. Feuchtes Getreide auf einen Haufen geschüttet, erwärmt sich durch den Keimprozeß der einzelnen Körner und nur unter der Bedingung dieser aus dem Leben der Kerne hervorgehenden Erwärmung tritt die Entwicklung der Keime, die der Wurzeln, die Diastasbildung und die nachherige Umwandlung des Getreides in Malz ein (man zerstört die Keimkraft, nachdem die Zuckerbildung eingetreten ist, durch Erhitzung). Hindert man die Erwärmung, welche vor dem Keimen eintreten würde, etwa dadurch, daß man durch das aufgeschüttete Getreide fortwährend einen kalten Luftstrom führt, so würde der Keimprozeß gar nicht stattfinden, das Samenkorn bliebe trotz des vorhergegangenen Quellens ein todtes Korn, es erwachte nie zum Leben.

Was an Wärme die Pflanze durch den auch ihr zukommenden Lebensprozeß entwickelt, dürfte sehr schwer zu bestimmen sein, gewiß ist aber, daß dies doch nicht unbeträchtlich sein kann, denn in einer Temperatur von 20 Grad unter dem Gefrierpunkte, wie sie im nördlichen Europa und von 40 Grad, wie sie im nördlichen Asien vorkommt, erfrieren Föhren, Tannen, Zirbelnußbäume (Pinus cembra) nicht. Nun, trocknes Holz friert freilich nicht aus einander, wird man vielleicht sagen, allein der *lebendige* Baum ist während des Winters *nicht* trocken; tritt dies ein, so ist er es auch im Sommer, d. h. er ist abgestorben. In dem winterlich entlaubten Baume sind die Säfte nicht zu Holz geworden, wie der Förster sagt, sind sie auch nicht zurückgetreten in die Wurzel (sonst müßten diese die Wassersucht bekommen), sondern was die Blatt-, Frucht- und Holzbildung der warmen Jahreszeit übrig gelassen an Säften, das ist Alles in den Zellen vorhanden, von dem Bast und Splint unter der Rinde bis zum Mark.

Eigene Wärme der Pflanzen.

Hätte der Baum nun keine eigene Wärme, so würde der Stamm die Temperatur der Umgebung annehmen müssen und die natürliche Folge davon wäre, daß der Baum unzählige Risse und Spalten bekäme, indem die Säfte beim Gefrieren sich ausdehnen. Dies geschieht auch bei einem im Spät-

herbst oder im Winter abgehauenen Baum. Schon der Holzschläger weiß, daß er einen lebenden Baum mitten im Winter leicht fällen kann, aber an einen im Herbst gefällten Baum macht er sich im Winter nicht gern, denn es ist bei jedem Hiebe, als wollte die Axt zerspringen.

Die lebhafteste Wärme aber entwickeln Pflanzen während ihrer Blüthezeit. Diese Versuche gehören nicht einmal zu den zarten, man beobachtet die Temperatur der Luft und steckt dann ein Thermometer mit ziemlich kleiner Kugel in das Innere einer sich so eben entfaltenden großen Blume, ein Cactus grandiflora, eine Magnolia sind dazu sehr geeignet, sie geben Temperaturdifferenzen von 7 bis 8 Grad. Die Brüder Schomburg haben deren von 12 Grad beobachtet und auch sogar die Pulsationen während der verschiedenen Tageszeiten und Entwicklungsperioden gefunden.

Auch hier beruht die Wärmeerzeugung auf dem geheimnißvollen Lebensprozeß, auf dem Stoffwechsel, es ist also unzweifelhaft das Pflanzenleben wie das thierische eine mächtige Wärmequelle.

Von der Wärmeerzeugung durch Elektricität

haben wir in einem andern Werke *) ausführlich gesprochen und es ist dem dort Gesagten nur noch Weniges hinzuzufügen; dieses Wenige ist nicht eigentlich eine Erklärung, sondern vielmehr eine Thatsache, das Warum wissen wir auch hier nicht, wir wissen nur, daß es so ist und hatten wir vorhin mit einer geheimnißvollen „Lebenskraft" zu thun, so haben wir es jetzt mit einer nicht weniger geheimnißvollen elektrischen Kraft zu thun.

Das Factische ist: wenn man die Elektricität durch einen sie leitenden Körper hindurchströmen läßt, so wird derselbe um so stärker erwärmt, je mehr Elektricität durch ihn hindurch geht, um so stärker, je schlechter er bis zu einer gewissen Grenze leitet, doch muß er ein guter Elektricitätsleiter sein; z. B. wird ein Kupferdraht von einer gewissen Menge Elektricität nur heiß, von der ein gleich starker Platindraht glühend, von der ein gleich starker (natürlich auch gleich langer) Eisendraht geschmolzen wird.

Daß die Erwärmung durch die Elektricität so gut Zeit erfordert, wie die Erwärmung auf jede andere Weise (nur weniger), unterliegt keinem Zweifel. Geht der elektrische Schlag in vollster Gewalt durch einen Haufen Schießpulver, so zerstreut er ihn, zündet aber nicht; vermindert man den Schlag, so findet die Entzündung statt; die Zeit ist freilich sehr kurz, allein Analogien hat man doch. Bevor eine Eisenkugel im Kohlenfeuer weißglühend wird, vergeht eine geraume Zeit, um aber eine kleine Eisenkugel bis zum Schmelzen, ja zum Verbrennen zu erhitzen, bedarf es nur eines Schlages

*) Zimmermann, Naturkräfte und Naturgesetze. Bd. I. S. 102 ff.

mit einem Stein auf einen Feuerstahl, der Schlag dauert wohl kaum den zwanzigsten Theil einer Secunde und in dieser kurzen Zeit ist doch das abgerissene Stahlkügelchen von 0 Grad auf 1200 Grad gestiegen.

Bei dem galvanischen Strom ist die Zeit, welche erfordert wird, um Erhitzung zu bewerkstelligen, sogar sehr deutlich meßbar. Wenn man eine Batterie von 3—4 gut wirkenden constanten Elementen hat und man schließt diese Batterie mit einem nicht gar zu dünnen Draht, so kann man denselben anfassen, bemerken, wie er warm und wärmer wird und man hat Zeit genug, um loszulassen, bevor man sich verbrennt. Ist der Draht dünner, so geschieht alles viel schneller und hat er endlich diejenige Feinheit erreicht, bei welcher er leicht und rasch in's Glühen kommt, so ist doch Niemandem zu rathen, den gedachten Versuch zu machen, er würde furchtbare Brandwunden davon tragen, bevor er im Stande wäre, den gehaltenen Draht loszulassen, denn der elektrische Strom wirkt schneller als der Wille des Menschen.

Daß aber, wie schon aus den Andeutungen hier hervor geht, der Leitungswiderstand eine große Rolle spielt, kann man sich durch Einschiebung eines Rheostaten deutlich machen.

Fig. 19.

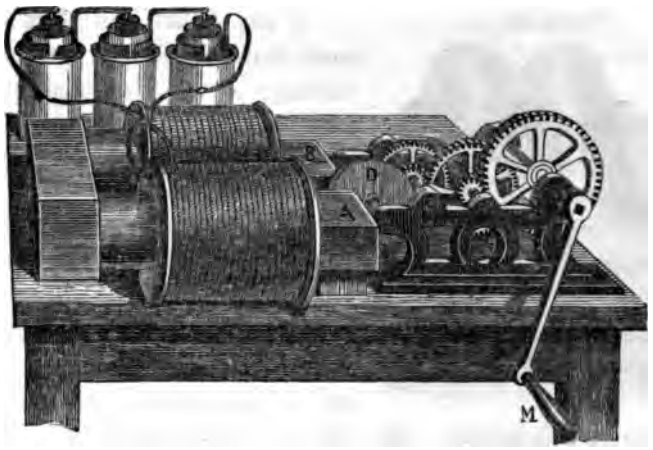
A und *B* sind zwei gleich lange und gleich starke Cylinder, *A* von Kupfer oder Messing, *B* von Serpentinstein, welcher sehr leicht zu bearbeiten ist. Der letzte der beiden Cylinder hat über seiner ganzen Länge eine Spirale eingedreht, auf welcher ein starker Kupferdraht aufgewickelt ist — das zweite Ende dieses Drahtes ist auf dem Metallcylinder befestigt und es kann zum Theile oder ganz auf diesen und von dem andern abgerollt oder es kann ganz auf den Steincylinder auf- und von dem Metall abgewickelt werden. Man läßt den electrischen Strom bei *o* in der Richtung des Pfeils eintreten; so weit der Draht auf der Steinrolle befindlich, muß der Strom allen seinen Windungen folgen, denn sie laufen in den eingedrehten Vertiefungen, welche jede Windung von der andern entfernt halten; sobald aber der Strom auf die Messingwalze übergeht, ändert sich dies dahin, daß der Strom unmittelbar aus der Walze austritt (bei *n*) und es dabei gleich ist, wie viele Windungen auf der Rolle sind, denn von der ersten bis zur letzten sind alle unter einander durch das Metall, worauf sie ruhen, verbunden. Für den Leitungswiderstand kommt also nur dasjenige in Betracht, welches auf der Steinrolle liegt und man kann diesen

Theil beliebig verlängern oder verkürzen, d. h. man kann den Leitungswiderstand vermehren oder vermindern.

Hat man nun zwischen die Pole einer Batterie einen solchen Rheostaten eingeschaltet und bringt alsdann erst mit dem Rheostaten und dem andern Pole der Säule den Draht, welcher zum Glühen kommen soll, in Verbindung, so hat man durch die Länge des Drahtes, den man auf der Spule *B* aufgewickelt hat, es in seiner Gewalt, wie bald die Erwärmung eintreten soll. Je geringer der Leitungswiderstand ist, desto schneller wird es geschehen. Natürlich ist dies nicht allein der Zweck des Instrumentes, dasselbe soll dienen, um den elektrischen Strom stets gleich stark zu erhalten, was man dadurch bezweckt, daß man zuerst den stärksten Leitungswiderstand braucht und dann, wie die Batterie an Kraft abnimmt, auch den Widerstand abnehmen läßt.

Auch der Magnetismus bewirkt eine nicht unbeträchtliche Erwärmung, wenn man hinlänglich starke Mittel anwendet. Die Fig. 20 zeigt den Apparat, welchen der französische Physiker Foucault gebraucht, um diese

Fig. 20.

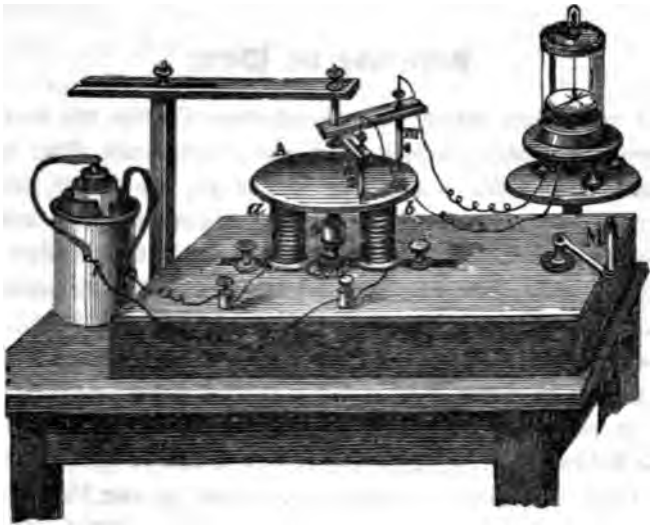


Erwärmung zu zeigen. Man sieht hier einen mächtigen Elektromagneten durch drei Grove'sche Elemente erregt. Ein paar Eisenplatten *A* und *B* sind vorne an seine Pole gesetzt und so gestellt, daß sie sich an beiden Seiten einer Kupferscheibe *D* von 2′ Durchmesser bis auf einen halben Zoll nähern. Die Handhabe *M* setzt ein Räderwerk in Bewegung, mittelst dessen man der Scheibe *D* eine Umdrehungsgeschwindigkeit von mehr als 200 Mal in der Secunde geben kann. Ist der Elektromagnet nicht in Thätigkeit, so kann man die Scheibe ziemlich leicht drehen und hat sie eine gewisse Umdrehungsgeschwindigkeit erhalten, so läuft sie lange fort, wenn man aber

nunmehr den elektrischen Strom durch den Draht des Elektromagneten gehen läßt, so wird der Apparat fast augenblicklich angehalten, will man ihn in Bewegung setzen, so kostet es eine bedeutende Arbeit und in kurzer Zeit wird die Scheibe so heiß, daß man sie nicht berühren kann, sie erhebt sich bis auf 70 Grad.

Auch mit geringeren Hülfsmitteln soll, wie Matteucci an dem unter Fig. 21 veranschaulichtem Apparat gezeigt hat, etwas Aehnliches gelingen.

Fig. 21.



Das Räderwerk, welches durch die Kurbel *M* getrieben wird, um die Scheibe *A* zu bewegen, befindet sich in dem Kasten, auf welchem der Apparat steht. Unter der rotirenden Scheibe sind die Theile eines starken Elektromagnets sichtbar, über der Scheibe schweben an einem beweglichen Arme die Leiter *m* und *n*, welche die Scheiben an verschiedenen Punkten berühren und zu einem Galvanometer führen, an welchem man durch Ablenkung der Nadel die elektrische Stromrichtung in der Scheibe erkennen kann. Wird der Apparat in Bewegung gesetzt, während die elektrische Säule thätig ist, der Elektromagnet als solcher wirkt, so bemerkt man an der Scheibe eine deutlich ausgesprochene Temperaturerhöhung; da aber Matteucci der Urheber dieses Experimentes ist, so erfordert es noch von vielen Seiten der Bestätigung, bevor man die Behauptung als Thatsache annehmen kann.

Zur Beantwortung der Frage: was macht denn warm bei dem elektrischen Strome? hat man kaum einen schwachen Ansatz genommen; man kann sagen: nach dem Gesetz der Reciprocität muß, da Wärme Elektricität

frei macht, freie Elektricität Wärme erzeigen; man kann auch sagen: da Elektricität stets chemisch wirkt, chemische Wirkung aber stets mit Temperaturveränderung verknüpft ist, so muß die Elektricität wohl Temperaturveränderungen erzeugen — wem dies genügt, der ist sehr genügsam, der Verfasser aber und die neueren Lehrbücher haben leider nichts besseres und darum scheint es am Angemessensten zu sagen: daß der elektrische Strom erwärmt, ist eine Thatsache — woher es kommt, wissen wir nicht.

Verbreitung der Wärme.

Das wunderbare Agens, dessen verschiedene Quellen wir in dem Bisherigen betrachtet haben, verbreitet sich von irgend einem Sitz, von einer Lichtflamme, einem Ofen, einer heißen Metallkugel, der Sonne, dem thierischen Körper — was es auch sei, in sehr verschiedener Weise und es hat dieses Agens, diese Thätigkeit, theils in sich selbst Eigenschaften, welche uns nöthigen, verschiedene Wärmearten anzunehmen. Um die nunmehr folgenden Erscheinungen aber mit Sicherheit betrachten, auffassen zu können, müssen wir uns klar zu machen suchen, auf welche Weise man überhaupt sich die Wärme zu denken habe.

Es ist die Frage: was ist Wärme? Darauf antworten die der Emanationslehre Anhängenden: sie ist ein Theil des warmen Körpers, den dieser von sich selbst, nach allen Richtungen hin, in ganz gerader Linie mit unendlicher Geschwindigkeit ausschickt. Diese ausgeschickten, unendlich vielen Theilchen sind von solcher Feinheit, daß sie nichts wiegen, auch in größter Masse verloren sowohl als aufgenommen, den Körper nicht leichter, den aufnehmenden nicht schwerer machen.

Die Körper senden ihre Wärme strahlenförmig aus, diese Strahlen können zurückgeworfen, abgelenkt, gebrochen werden und sie folgen dabei ganz bestimmten, feststehenden Gesetzen, welche wir in dem Folgenden kennen lernen werden.

Die Emanations-, die Aussendungstheorie hat lange Zeit für die bekannt werdenden Erscheinungen ausgereicht; daß man nicht begreift, wie ein Körper unendlich viele Theile mit unendlicher Geschwindigkeit aussenden kann, ohne etwas von seinem Gewichte zu verlieren, wie ein Körper unendlich viele Theile aufnehmen kann, ohne zu gewinnen, dies hindert die Möglichkeit nicht; wenn auf Erden nichts geschehen sollte, als was wir begreifen, so würde sehr Vieles ungeschehen bleiben müssen; was *begreifen wir* denn von den uns allergewöhnlichsten Erscheinungen, von An-

ziehung, von Schwere, von Elasticität ꝛc.? Das Wort „unendlich" hat eine erstaunliche Dehnbarkeit, wenn die unendliche Menge von Theilchen, welche ein Körper mit unendlicher Geschwindigkeit aussendet, unendlich wenig wiegen, so hat dies unendlichmal unendlich einen so precairen Werth, daß der Mathematiker sich weigert, ihn zu bestimmen. Dies also würde kein Hinderniß für die Annahme der Hypothese oder Theorie sein; allein es giebt eine so große Anzahl von Erscheinungen, die sich dadurch gar nicht erklären lassen, daß die Physiker dieses Jahrhunderts, auch wenn sie ursprünglich ganz der alten Schule angehörten, sich doch nach und nach genöthigt sahen, ein Stück nach dem anderen von dem eingenommenen Felde aufzugeben und der Vibrationstheorie einzuräumen.

Dies Erzitterungssystem stützt sich auf die Fortpflanzung des Schalles durch die Luft. Die Töne gehen nicht von der Glocke aus zu dem Ohre, sondern die in Schwingung gesetzte Glocke giebt den nächsten Theilen der sie umgebenden Luft solche Schwingungen wie sie, die Glocke selbst hat, diese nächsten Theile geben die empfangenen Schwingungen weiter und diese wieder weiter, so besteht endlich der Schallstrahl, welcher unser Ohr trifft, in einer hinter einander liegenden Reihe von Lufttheilchen, deren jedes einen Stoß empfangen und weiter gegeben hat, bis das letzte Lufttheilchen einen eben solchen Stoß dem Trommelfell des Ohres giebt und dadurch der Gedanke, die Empfindung, das Bewußtsein — „ich höre" — entsteht.

Euler's Ansichten.

Aristoteles hat schon den Gedanken gehabt, ob das Licht sich nicht etwa auf dieselbe Weise fortpflanze wie der Schall; Huygens hat schon im Jahre 1690 diesen Gedanken ausgesprochen, allein erfolglos, es war ein Funke, der auf nassen Zunder fiel.

Euler gab im Jahre 1740 zu Berlin eine Schrift „neue Theorie des Lichtes und der Farbe" in lateinischer Sprache heraus; diese hat sich immer mehr eingebürgert und man geht jetzt allgemein von der Ansicht aus, daß sie die einzige richtige sei, weil alle Erscheinungen des Lichts und der Wärme sich durch sie erklären; so wollen wir dieselbe hier folgen lassen und die Erscheinungen der Wärme auch auf sie als die beste Erklärungsweise stützen.

Der Weltraum ist erfüllt von einem äußerst zarten Körper, dem Aether. Seine Schwere ist so gering, daß sie unbedenklich = 0 gesetzt werden kann, seine Widerstandsfähigkeit mithin so gering, daß sie die gewaltigen Massen der Planeten in ihrem Laufe nicht aufhält; doch nicht gering genug, um ohne Einfluß auf leichtere Weltkörper, wie z. B. die Kometen zu sein, deren

Bahnen dadurch verkürzt werden. Man kann sich wohl denken, daß ein Körper, der bei einer Dicke von 3 Mill. Meilen noch das Licht eines Sternes sechster Größe durch seine Masse gehen läßt — wie dies mit den Kometen unzweifelhaft geschieht — von einer Zartheit sein müsse, von der wir keinen Begriff haben; unser Nebel ist bei 10 Fuß Dicke schon viel zu compact, um noch das Licht kleinster Sterne durchzulassen; die klarste Luft der südlichen Zonen ist, wenn man horizontal durch sie hindurch sieht, noch viel zu dicht, um dem Sternenschimmer Durchgang zu gestatten. Im Horizont sieht man zwar Sterne erster Größe selbst in mittleren Breiten, Sterne zweiter und dritter Größe selbst in den Tropenländern, aber um einen Stern sechster Größe am Horizont aufgehen zu sehen, würde man sich nicht allein auf die Höhe von Quito begeben, man würde wohl den Chimborasso bis in die Nähe der Schneegrenze besteigen müssen, um die Hälfte der Luftmasse unter sich zu haben.

Körperlich aber ist diese durchsichtige Luft noch in viel höheren Regionen, denn nicht nur trägt sie 1½ Meile hoch über der Meeresfläche noch den Condor schwebend auf scheinbar ruhenden Flügeln, sie wirft sogar noch in der Höhe von 10 Meilen die Lichtstrahlen zurück.

Gäbe man dieser zarten Luft, ohne daß sie durch die Schwere von einem Erdkörper gefesselt, also gegen denselben hin compacter würde (wie unsere atmosphärische Luft immer dichter wird, je näher sie dem Erdkörper kommt), gäbe man dieser Luft eine Dicke von 1000 Meilen, so würde sie kein Sternenschimmer mehr durchdringen, wie nun erst bei 100,000 Meilen und beim Dreißigfachen dieser Dicke.

Der Aether.

Dies ist denn das Maß der Zartheit der Kometenmasse und Derjenige, der sich durch Rechnung eine Vorstellung von dieser ungemeinen Feinheit machen kann, der vermag auch zu begreifen, daß es wohl ein noch feineres Fluidum geben könne, mit welchem der Weltraum erfüllt und welches zart genug ist, um den Planeten keinen Widerstand zu leisten, dem Astronomen doch dadurch Kunde von seiner Anwesenheit im Weltraum giebt, daß es die Bahnen der Kometen verkleinert.

Es ist begreiflich, daß sich der Aether durch kein anderes Experiment nachweisen läßt; dies Experiment machen uns aber die der Sonne nächsten Kometen alle 4—6 Jahre vor und es scheint, da hiermit seine Existenz außer Zweifel gestellt, nicht mehr ganz thöricht, auf diese Existenz des Aethers eine Theorie zu bauen.

Es kann Niemand eine Hand voll Luft nehmen und sie 50 Schritte

weit wie eine Hand voll Schrot werfen, noch viel weniger wird dies also mit dem Aether der Fall sein. Schon Dinge, welche 200, 400 Mal schwerer als Luft sind: Federn, Papierschnitzel, Sägespäne, lassen sich nicht mit Erfolg werfen und sie sind doch viel schwerer als die Luft, wie sollte man etwas um so viel Leichteres bewegen können.

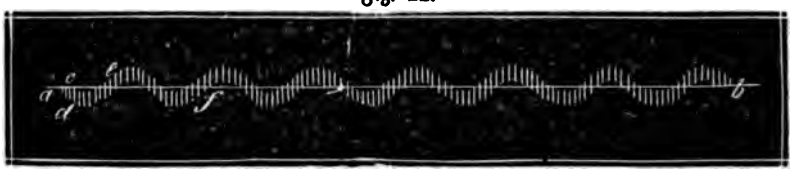
Dennoch sehen wir an der Luft, daß auch sie bewegt werden könne, nicht wie beim Sturm, beim Orkan, 80 oder 120 Fuß in der Secunde fortgehend, sondern 1040 bis 1050 Fuß in der Secunde zitternd, vibrirend wie beim Schall. Sollte denn hier die Grenze sein? gewiß nicht, dies ist nur die Elasticitätsgrenze und Körper, welche elastischer sind, haben auch eine schnellere Fortpflanzung des Schalles durch die Zitterbewegung, aber obwohl dabei unzweifelhaft die Theile des den Schall leitenden Körpers bewegt werden, geht doch nicht ein Theilchen Luft von dem Violinspieler aus durch den Concertsaal zu den Zuhörern, sondern es ist in allen Theilen der Luft das bekannte Spiel des „Gieb es weiter" eingeleitet, nur geht es etwas schneller, als wenn ein Nachbar dem andern eine Ohrfeige giebt.

Ganz auf dieselbe Weise wie die Fortpflanzung des Schalles durch die Luft, haben wir uns die der Wärme durch den Aether zu denken. Die Sonnenwärme setzt die dem Sonnenkörper zunächst liegende Schicht des Aethers in Bewegung, diese giebt den Impuls der nächsten Schicht und kehrt dann in ihre frühere Lage zurück; die zweite Schicht giebt den empfangenen Impuls der dritten Schicht ab und kehrt dann in ihre ursprüngliche Ruhe zurück, unterdessen hat aber die erste Lage einen neuen Impuls bekommen, diesen giebt sie der zweiten Lage ab, indeß die dritte Schicht den ihrigen der vierten abgiebt; die erste ist wieder in Ruhe zurück gekehrt, die vierte giebt den Impuls der fünften, die zweite der dritten; die erste hat unterdeß wieder einen neuen Impuls erhalten und so fort; so lange überhaupt die Thätigkeit der Wärmequelle währt, was natürlich bei der Sonne ohne Aufhören fortdauert, bei jeder anderen Wärmequelle aber eine Begrenzung hat.

Die Wellenbewegungen gehen gleich denen, die ein Stein auf einer Wasserfläche verursacht, rings um den wärmenden Körper in Kugelschalen vor sich, eine Ebene durch eine solche Sphäre gelegt, würde uns das Bild der Wellen im Wasser geben und um einen Wärmestrahl (oder Lichtstrahl, denn das Licht verbreitet sich genau nach denselben Gesetzen wie die Wärme) anschaulich zu machen, müßte man eine solche Wellenebene noch einmal senkrecht durchschneiden. Der Durchschnitt würde uns eine geschlängelte Linie *cdef* zeigen, deren auf- und absteigende Theile Berg und Thal, die Bewegung der Aethertheilchen bei der Wärmeerregung geben, indeß die längere

gerade Linie *a b* die Richtung des Wärmestrahles bietet, wie die hier eingeschaltete Linie zeigt, in welcher die einzelnen Striche das Auf- und Absteigen der angestoßenen Aethertheilchen versinnlichen.

Fig. 22.



Auf ganz gleiche Weise bewegt sich das Licht; und der Unterschied zwischen Wärme und Licht wird gegenwärtig nur in der verschiedenen Schnelligkeit, mit der die Schwingungen erfolgen und in der verschiedenen Breite der Wellen gesucht. Die alten Theorien sehen die Wärme als eine Materie an, welche der erwärmte Körper erhält, der erkaltende verliert; die Vibrationstheorie läßt den wärmer werdenden Körper ohne Vermehrung seiner Masse in Schwingung, den kälter werdenden ohne Verminderung seiner Masse in Ruhe übergehen, mehr oder minder heiß ist nur der Ausdruck der größeren oder geringeren Schwingungen und Schwingungs-Geschwindigkeiten, in welche der Körper versetzt worden ist. Die Theilchen des Körpers in Ruhe bedürfen eines gewissen Raumes, den wir als die Ausdehnung des Körpers kennen; dieselben Theilchen in Bewegung, Vibration, bedürfen eines größeren Raumes, das ist dasjenige, was wir als Ausdehnung durch die Wärme kennen. Einer solchen Ausdehnung ist aber jeder Körper unterworfen, er möge fest, flüssig oder gasförmig sein.

Ausdehnung der Gase.

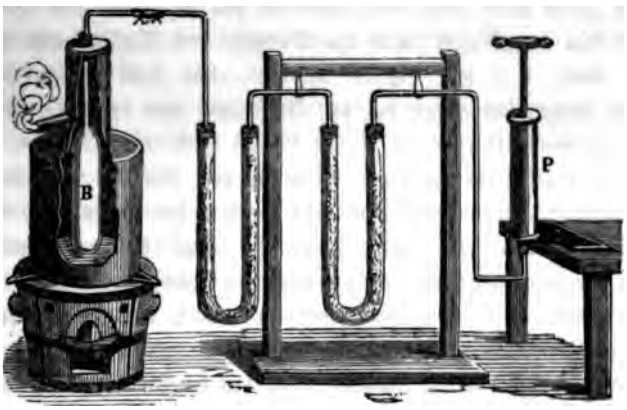
Wir haben bei dem Abschnitt von den Meßinstrumenten für die Wärme diese Ausdehnung bereits kennen gelernt, wollen aber doch Einiges über die Methode, die Ausdehnung zu messen, besonders in Beziehung auf die Gase, sagen, um zu zeigen, welchen Grad von Genauigkeit man anzuwenden für nöthig hält, um die Gesetze der Ausdehnung zu ermitteln.

Da es bekannt ist, daß die Gase durchweg mit Feuchtigkeit beladen sind, man jedoch die Gase rein haben will, so verfährt man, um sie zu trocknen, auf folgende Art:

B der Fig. 23 (S. 167) ist ein Glasgefäß mit sehr langem, dünnen Rohr, welches, in ein Knie gebogen, durch Gummi elasticum mit einem andern ähnlichen Rohre verbunden, zu dem Trocknenapparat führt; dieser *besteht aus* einem hölzernen Gerüste, welches zwei U förmig gebogene Röhren

trägt, in denen eine sehr nach Feuchtigkeit begierige Substanz, gewöhnlich trockner, salzsaurer Kalk liegt. Die Figur spricht selbstverständlich aus, wie die Verbindungen durch gut schließende mit Wachs getränkte Korke gemacht

Fig. 23.



werden, um die Luft aus dem Gefäße *B* nach der kleinen Luftpumpe *P* zu leiten, mittelst deren man *B* entleeren kann, worauf man durch das letzte Rohr diejenige Gasart, deren Ausdehnung man prüfen will, in das Gefäß streichen läßt. Es giebt für diese Gasart nur einen Weg, dies ist der Weg durch die beiden Röhren mit salzsaurem Kalk, hiermit in Berührung, verlieren sie sofort ihre Feuchtigkeit und treten völlig getrocknet in das Gefäß *B*.

Dicht unter dem Knie des dünnen Rohres dieses Gefäßes wird dasselbe nunmehr abgeschnitten und mittelst einer starken Flamme erhitzt man das Ende so, daß es sich in eine feine Spitze ausziehen läßt, die man abbricht, um sie offen zu haben.

Die Umgebung von *B* zeigt uns ein Blechgefäß, worin etwas Wasser enthalten, es hat oben einen guten Korkverschluß, durch welchen das Rohr des Glasgefäßes geht, seitwärts aber sieht man ein Abzugsrohr für die Dämpfe. Das Blechgefäß steht auf einem kleinen Ofen.

Nachdem Alles so weit vorbereitet ist, wägt man das Gefäß mit dem Gase auf das Sorgfältigste, dann bringt man es in den Kochapparat und läßt nun das Wasser darin zum Kochen kommen, wobei der leere Raum mit siedend heißen Dämpfen erfüllt wird, welche dem Glasgefäße *B* ihre Temperatur mittheilen; sobald dies vollständig geschehen ist, schmelzt man mit dem Löthrohr die Spitze des Rohres an dem Gefäß *B* zu und läßt nun zuerst alles erkalten, dann nimmt man den Gasbehälter heraus, steckt ihn mit der Spitze des Rohres in ein Quecksilbergefäß, benetzt ihn aus-

wendig mit Eiswasser und wenn es die Temperatur des Eises angenommen hat, so bricht man unter dem Queckſilber die Spitze des Rohres ab und giebt dem Queckſilber Gelegenheit, in das Rohr und das Gasgefäß hinein zu ſteigen, ſenkt auch das Glas ſo weit nieder, daß das Queckſilber in- und auswendig gleich hoch ſteht und nunmehr hat man an dem Merkur das Maß, wie viel des Gaſes durch die Siedhitze des Waſſers aus dem Gefäß vertrieben war, d. h. mit anderen Worten, wie ſtark es zwiſchen 0 und 100 Grad ausgedehnt (oder bei der Abkühlung von 100 bis auf 0 Grad zuſammen gezogen) worden iſt. Das Gefäß wird mit dem von ſelbſt eingedrungenen Queckſilber gewogen, Gewicht des Gefäßes und der Luft in vollem Zuſtande hiervon abgezogen und daraus der Verluſt an Gas durch Austreibung, vermöge der Wärme gefunden. Das höchſt merkwürdige Reſultat iſt, daß alle Gasarten ſich faſt gleich ſtark ausdehnen, daß es für jeden Grad des hunderttheiligen Thermometers gleichviel, nämlich ein dreitauſendtheil des ganzen Volumens und für 100 Grade etwas über $^3/_{10}$, nämlich genau 0,36678 beträgt und daß die Unterſchiede für die verſchiedenen Gaſe bei den einzelnen Graden erſt bei der fünften Decimalſtelle anfangen, alſo erſt in den Hunderttauſendtheilen — ſo feine Unterſchiede können auch auf Beobachtungsfehler geſchoben werden und man hat vollkommen Recht, wenn man ſagt: die Gaſe dehnen ſich bei gleichen Temperaturunterſchieden um gleich viel aus.

Ausdehnung flüſſiger Körper.

Die Dichtigkeit flüſſiger Körper wird, wie begreiflich, auch durch Erhöhung der Temperatur verringert. Hier findet aber ein bedeutender Unterſchied ſtatt, nicht nur dehnen ſich dieſelben ſehr verſchieden, die eine viel mehr als die andere aus, ſondern auch in ſich ſelbſt ſchreiten ſie bei gleicher Wärmevermehrung oder Verminderung nicht gleichmäßig vor oder zurück. Verſuche haben gezeigt, daß allein das Queckſilber hiervon eine Ausnahme macht, indem dies ſich von Grad zu Grad gleichmäßig verändert, indeß der Weingeiſt ſich von 95 Grad bis zum 100ſten doppelt ſo ſtark ausdehnt als vom fünften bis zum zehnten Grade. Die Verſuche hierüber ſind übrigens ſehr ſchwierig, weil man ſtets etwas ſehr Gemiſchtes zum Reſultat erhält; gemiſcht nämlich aus der Ausdehnung der Flüſſigkeit mit der Ausdehnung des feſten Körpers, in welchem dieſe Flüſſigkeit enthalten iſt, und es iſt wohl möglich, daß ein unvorſichtiger Experimentator gar keine Ausdehnung bei einer unterſuchten Flüſſigkeit findet, wenn das Gefäß, innerhalb deſſen *dieſelbe enthalten* iſt, ſich ſo ſtark ausdehnt, daß bei der vorgenommenen

Erwärmung die Vergrößerung des Inhalts des Gefäßes gleichen Schritt hält mit der Vergrößerung der diesen Inhalt erfüllenden Substanz.

Ist nun auch ein solches Verhältniß nicht leicht aufzufinden, so ist eine mehr oder minder große Annäherung an dasselbe doch bei jeder einzelnen Untersuchung vorhanden und deshalb ist es höchst nothwendig, daß man zuerst die Ausdehnung des Gefäßes genau ermittle, bevor man die Ausdehnung der da hinein zu bringenden Flüssigkeit prüft.

Eine sehr merkwürdige Ausnahme von der Regel, daß vermehrte Wärme auch die Ausdehnung vermehrt, macht das Wasser bei niederen Temperaturen. Es ist möglich, das Wasser durch vorsichtige Behandlung, durch vollständige Ruhe, kälter zu erhalten als man gewöhnlich annimmt, bei 0 Grad friert es in der Regel noch nicht, aber selbst die Kälte von — 8, ja — 10 Grad hat man dasselbe in flüssigem Zustande annehmen sehen. Wenn es nun durch einen Stoß, durch Umrühren in Bewegung gesetzt wird, so schießt es plötzlich nach allen Richtungen in langen Nadeln an und in einem Augenblick ist der Eimer voll Eis, die Temperatur ist aber durch das Festwerden auf 0 Grad gestiegen.

Wenn man jedoch dies verhindert und in dem Wassereimer ein Wasserthermometer beobachtet, so wird man finden, daß das Letztere beim Kälterwerden nicht sinkt, sondern im Gegentheil steigt. Die Physiker schreiben dies einer Tendenz zum Krystallisiren zu, einer Neigung, feste Form anzunehmen und da das Wasser nicht, wie z. B. Glas und ähnliche Substanzen, beim Erstarren vollkommen gleichmäßig wird, sondern ein Gefüge hat, dies Aneinanderreihen und -fügen der kleinsten Theile aber Raum fordert, so ließe sich das Gesagte als möglich wenigstens vertheidigen; ob es der wahre Grund ist, wissen wir nicht, die Thatsache aber steht fest, das Wasser dehnt sich beim Kälterwerden unter Null aus. Geht man von der niedrigeren Temperatur zurück auf höhere, wärmere, so sinkt das Wasserthermometer, sein Volumen wird immer kleiner je wärmer es wird, es sinkt bei — 1 bis 0 Grad, es sinkt immer mehr bei + 1 bis + 2 Grad, es sinkt noch bei 4 Grad Wärme der hunderttheiligen Scala; erst bei 4½ Grad tritt ein Stillstand ein und bei 5 Grad beginnt das Wasser sich wieder auszudehnen und es steigt nun bei fortgesetzter Erwärmung ein Wasserthermometer immer mehr.

Ein Ausnahmegesetz in der Natur.

Wenn die Natur solche Ausnahmen von ihren Gesetzen macht, so hat sie wichtige Gründe dafür, denn sie ist keine Freundin von Ausnahme-

zuständen. Hier liegt aber eine Nothwendigkeit vor, welche der kurzsichtige Mensch nur nicht früh genug gefunden hat, obwohl man jetzt, wo die Thatsache bekannt ist, die Nothwendigkeit nicht nur einsieht, sondern sich auch wohl wundert, daß nicht ein Jeder dies findet oder daß man es nicht längst gefunden hat.

Im Wasser leben unzählige Thiere. Nehmen wir an, das Wasser würde schwerer, dichter, je kälter es wird, so wäre die natürliche Folge, daß beim Beginn des Winters das dichtere Wasser, zu Boden sinkend, eine Temperatur von 0 Grad bis — 1 Grad annähme und daß hiermit von unten auf, mit einem Schlage alle Flüsse, alle Seen gefrieren, von unten bis oben zu einem Eisklumpen werden würden, in welchem natürlich auch alle Thiere, welche auf das flüssige, bewegte Wasser angewiesen sind, zu Grunde gehen müßten. Eine nothwendige Folge wäre also, daß die Erde niemals aus dem chaotischen Zustande, in welchem sie Anfangs war, hätte hervor gehen können, indem während der Winterszeit die Wasseranhäufung aus allen immerfort strömenden Quellen ungeheure Gebirge von Eis geschaffen hätte, welche die Sonne zu schmelzen gehabt und welche dann in Wasserfluthen verwandelt in die Ebenen zur Vernichtung alles keimenden Lebens geführt wären. Wir sehen, was eine geringfügige, ganz partiell vertheilte Regenmenge für Einflüsse auf den Rhein, die Donau, die Weichsel hat und können uns wohl ein ungefähres Bild von dem Zustande der Erde machen, wenn dies etwas ganz Allgemeines wäre.

Allen diesen Schrecken und den ganzen inhaltschweren Folgen derselben, der Unbewohnbarkeit unseres Planeten, weicht die Natur aus, dadurch daß sie den Gefrierpunkt nicht zu der größten Dichtigkeit des Wassers, sondern 4 Grad darunter setzt. Nun ist das schwerste Wasser, welches zu Boden sinkt und den flüssigen Inhalt der überfrorenen Ströme bildet, 4 Grad warm. Wenn durch die Winterkälte das Wasser noch niedriger temperirt wird, so sinkt dies nicht mehr unter, das kältere bleibt also oben, und je kälter es wird, desto leichter wird es; das gefrorene Wasser ist endlich so viel leichter, daß es auf dem nicht gefrorenen schwimmt und um ein volles Zwölftheil seiner Dicke daraus hervor sieht. Jetzt leben die Fische unter der Eisdecke im fließenden oder stehenden Wasser, jetzt eilt im Winter wie im Sommer das Wasser der Quellen in das Meer, die Flüsse treten nicht über, die Erde ist bewohnbar.

So ungeheure Erfolge erzielt die Natur durch so unbedeutend scheinende Mittel.

Verwandlung der Aggregatzustände.

Alle Körper, welche wir kennen, sind entweder fest, flüssig oder luftförmig und man nennt eine dieser drei Formen der Materie ihren Aggregatzustand. Die Wärme ist es, welche diesen Zustand bedingt und die Aggregatzustände der Körper wandelt.

Eis wird durch Wärme zu Wasser, dies wird durch Wärme zu Dampf; Gold wird durch Wärme flüssig und es verflüchtigt sich endlich; Kohlensäure ist eine Luftgattung, durch Entziehung der Wärme wird sie zu einer Flüssigkeit, durch noch stärkere Erkältung krystallisirt sie.

Es giebt allerdings Körper, welche nicht alle drei Aggregatzustände durchlaufen, Holz, Marmor, die atmosphärische Luft u. a., allein wahrscheinlich kennen wir nur noch nicht die Bedingungen, unter denen es möglich sein dürfte, z. B. haben wir nicht in unserer Gewalt, eine Kälte hervorzubringen, bei welcher atmosphärische Luft flüssig oder Weingeist fest wird, oder wir zerstören den Körper früher als er schmilzt, wie Holz oder Marmor. Hätten wir für das eine die Mittel der Kälteerregung in dem nöthigen Grade, so würden wir Luft mit Löffeln essen oder Weingeist gleich Zucker mit dem Hammer zerschlagen müssen; hätten wir für das andere (da es an Mitteln zur Erhöhung der Temperatur nicht fehlt) die Mittel, eine Verflüchtigung der von den zu schmelzenden Körpern eingeschlossenen Gasarten Kohlensäure ꝛc. zu verhindern, so würden wir wohl Holz oder Kohle im Fluß sehen, wie der Diamant so etwas gewesen zu sein scheint, oder wir würden Kreide zu Marmor zusammenfließen und krystallisiren sehen.

Liquefactionswärme.

Ein fester Körper kann eine beliebige Temperatur haben und durch Kunst auf eine immer höhere gebracht werden (erwärmen, erhitzen), nun tritt ein Zeitpunkt ein, in welchem die Temperatur ganz fest stehen bleibt, der Körper trotz aller angewandten Mühe nicht mehr wärmer werden will. Sieht man genauer hinzu, so bemerkt man, daß der bisher fest gewesene Körper nunmehr flüssig wird; den Temperaturpunkt, bei welchem dies Flüssigwerden beginnt, nennt man den Schmelzpunkt; für eine große Menge von Körpern ist derselbe genau bestimmt oder wenigstens bestimmbar, bei einigen, wie z. B. Wachs oder Butter, Eisen oder Platina, tritt ein Zwischenstadium ein, während dessen die Substanz weder fest noch flüssig ist, in diesem Zustande ist sie plastisch, formbar wie feuchter Thon und es ist

ein großer Vorzug des Eisens, daß es zu den hämmer- oder schmiedebaren Metallen gehört. Bei diesen ist der Schmelzpunkt nicht genau anzugeben, man kann nur annäherungsweise die Temperatur bestimmen, bei welcher sie noch fest, diejenige, bei welcher sie schon flüssig sind und sagt dann: sie werden weich bei so und so viel Grad, der Schmelzpunkt liegt viel höher, ist aber unbestimmt.

Die Schmelzhitze selbst ist, sobald die Körper beginnen, wirklich flüssig zu werden, fest und unveränderlich. Eis wird, wie bereits bemerkt, von — 20 auf — 10 Grad gebracht, auf — 2 und — 1 Grad, bei 0 Grad aber bleibt es stehen, obschon es rundum von schmelzendem Eise, d. h. von Wasser umflossen ist, das Wasser, selbst wenn das Gefäß, worin das Eis sich befindet, auf einem heftigen Feuer steht, wird nicht wärmer als 0 Grad, so lange in dem Kessel, der Wasser und Eis enthält, noch das kleinste Stückchen Eis befindlich. Erst dann, wenn Alles geschmolzen, steigt die Temperatur und mit ihr das Thermometer.

Die Wärme, welche dem Eise oder irgend einer beliebigen Substanz zugeführt wird, damit sie schmelze, die Wärme, welche die Arbeit des Schmelzens vollführt, und darum nichts Anderes thun kann, also dem Thermometer keine Nachricht von ihrer Anwesenheit giebt, diese Wärme nennt man Liquefactions- oder Flüssigmachungswärme und sie ist nicht unbedeutend. Ein Pfund Wasser von 0 Grad hat so viel verborgene Wärme, daß durch dieselbe 60 Pfund Eis von — 1 auf 0 Grad oder ein Pfund Eis von — 61 Grad R. auf — 1 Grad erhoben werden könnte. Die Anzahl der Grade, welche von dem festen Körper verschlungen werden, lediglich um ihn flüssig zu machen, ist genau ermittelt; z. B. gießt man auf ein Pfund Eis von 0 Grad ein Pfund Wasser von + 60 Grad R. oder 75 Grad C., so erhält man dadurch zwei Pfund Wasser von 0 Grad. Die ganze Summe der Wärme von 60 Grad R. oder 75 Grad C. ist also darauf gegangen, um ein Pfund Eis von 0 Grad in Wasser von 0 Grad zu verwandeln.

Siedehitze.

Geht man weiter, führt man dem Gemisch von Wasser und Eis, welches durch die verschlungenen 60 Grad zu lauter Wasser geworden, mehr Wärme zu, so steigt von dem Augenblick, von welchem eine Schmelzung von Eis nicht mehr nöthig, die Temperatur, sie erhebt sich immer mehr bis zu einem gewissen Stadium, welches man den Kochpunkt nennt, er ist gewöhnlich 80 Grad R. oder 100 Grad C., häufig aber etwas

darunter wegen des niedrigeren Luftdruckes (weniger als 28 Zoll des Barometerstandes).

Ist das Stadium des Kochens erreicht, so wird kein ferneres Zunehmen mehr stattfinden, auch wenn man statt einer Lampe, wie die Fig. 24 zeigt, zehn unter den Kolben setzen wollte, immer würde der Kochpunkt nicht überschritten werden können, wohl aber ist die Temperatur, bei welcher eine Flüssigkeit kocht, nach den Umständen verschieden und zwar um so niedriger, je geringer der Druck ist, welcher auf der kochenden Flüssigkeit lastet.

In physikalischen Cabinetten sieht man gewöhnlich ein Instrument, welches der Pulshammer heißt und dazu dienen soll, das Kochen des Wassers bei niederen Temperaturen, also z. B. bei der Wärme der Hand zu beweisen, sehr viel überzeugender ist aber der Beweis für den Laien zu führen, wenn man das zuletzt beschriebene Experiment wie folgt weiter führt.

Fig. 24.

Fig. 25.

Wenn der Kolben eine Zeit lang recht heftig gekocht hat, dadurch die Luft vertrieben und durch Wasserdämpfe ersetzt ist, so pfropft man die Flasche, den Kolben mit einem vorher genau eingepaßten Kork fest zu in dem Augenblick, in welchem der Gehülfe die Lampe entfernt. Man kehrt nunmehr den Halter, den Arm, welcher den Kolben trägt, dergestalt um, daß, wie die Fig. 25 zeigt, der Hals der Flasche nach unten kommt und der Kork mit dem heißen, aber nicht mehr siedenden Wasser bedeckt ist, auf das Brett unter den Hals stellt man eine Schüssel und nun gießt man kaltes Wasser *auf den nach oben* gerichteten Boden des Kolbens. Je kälter

dies ist, desto lebhafter kocht das Wasser in dem Kolben und es kann dies mit solcher Heftigkeit geschehen, daß der Kolben dadurch zerschlagen wird.

Der Vorgang ist dieser: in dem Bauch des Kolbens befindet sich heißer Wasserdampf, dieser übt einen bestimmten Druck auf das Wasser, ersetzt die fehlende Luft, läßt seines Druckes wegen das Wasser, das nur noch 90 oder 80 Grad hat, bei dieser niederen Temperatur nicht zum Sieden kommen. Das kalte Wasser schlägt plötzlich den Dampf nieder, nunmehr ist über dem 80. oder 70. Grade heißen Wasser ein luft- und dampfleerer Raum entstanden, alsbald entwickelt das Wasser aus seiner ganzen Masse Dampf in Menge, um den leeren Raum damit zu füllen. Das niederströmende Wasser erkältet zwar auch das in dem Kolben befindliche nach und nach auf 60 bis 50 und weniger Grade, da aber immerfort die Dämpfe im Innern des Kolbens niedergeschlagen werden, so kocht das Wasser immer noch, bis es endlich unter 30 Grad hinabsinkt, da es denn aufhört.

Will man nunmehr den Pfropfen aus dem Halse der Flasche ziehen, so muß dies sehr behutsam geschehen, denn öffnet man sie plötzlich, so stürzt die Luft mit solcher Gewalt in den leeren Raum, daß die Flasche zerschlagen wird und der Experimentator nur den Hals derselben in der Hand behält; erhebt man jedoch den Kork nur so weit, daß durch eine feine Spalte die Luft pfeifend eindringt, so ist das Experiment gefahrlos und nicht kostbar, denn mit solchem Kolben, besonders wenn er recht dünnes Glas hat, kann man dasselbe hundertmal wiederholen.

Kochen unter erhöhtem Druck.

Steigt umgekehrt der Druck, unter welchem das Wasser steht, über denjenigen, der durch einen Barometerstand von 28 Zoll ausgedrückt wird, so kocht das Wasser auch erst bei höheren Temperaturen. Dies zu beweisen, genügt freilich ein Glaskolben nicht, allein es ist bewiesen worden, wie wir sogleich sehen werden und es stützt sich auf die Möglichkeit, Wasser heißer als 100 Grad C. zu machen, die ganze Dampfmaschinentechnik.

Gegen das Ende des 17. Jahrhunderts erfand der nachmalige Professor der Universität Marburg, Papin, den Digestor, welcher seinen Namen führt und sich in neuester Zeit sogar in den Privatküchen eingebürgert hat, während er schon seit einem halben Jahrhundert in großen Anstalten sowohl zur Bereitung von Nahrungsmitteln (Knochensuppen, Rumford'sche Suppen), theils zur Gewinnung von Leim aus Knochen, Haut und Sehnen, aus thierischen Abfällen angewendet wird.

Fig. [illegible]

[illegible] über welchem ein Hebel [illegible] liegt, den man mit dem Gewichte [illegible] beschweren kann. Man muß die Fläche des Ventils kennen und darnach die Belastung einrichten, hat sie einen Quadratzoll und ist die Entfernung von [illegible] nach [illegible] dreimal so groß als die von n nach a, so genügt ein Gewicht von [illegible] Pfund bei p, um einen Druck von zwei Atmosphären (da der natürliche Druck der Luft auf das Ventil dazu kommt) auszuüben. Ist das Gewicht größer oder ist die Entfernung von n nach p größer als das dreifache von [illegible] nach [illegible] so ist natürlich auch der Druck größer und man wird ihn nach dem Zweck den man vor hat, und nach der Widerstandsfähigkeit des Topfes einrichten. Durch die Schraube B wird vor dem Erhitzen des Topfes der Deckel luftdicht auf den Rand des Digestors gedrückt.

Stellt man nun den Apparat auf das Feuer, wie die Zeichnung giebt, so wird, so lange das Ventil offen bleibt und der Dampf frei entweichen kann, die Temperatur des Wassers nicht höher steigen als bis auf [illegible] Grad; sobald man aber das Ventil schließt, hört zuerst das Rauchen auf und das Wasser wird heißer, hebt es aber das Ventil bei einem Gewicht von [illegible] in der oben angegebenen Entfernung [illegible] 15 Pfund außer dem [illegible] Druck [illegible] Temperatur [illegible] [illegible] als [illegible] Grad [illegible]

[illegible]

hinein ſteckt (wollte man dies thun, ſo würden die Dämpfe, von ihrer Laſt befreit, ſo gewaltſam hervorſtürzen, daß man ſich der Todesgefahr ausſetzte), ſondern in dem Deckel des Topfes befindet ſich, dem Ventil gegenüber, ein eingelaſſenes Thermometer (welches hier nicht angedeutet iſt, um die Figur nicht undeutlich zu machen), an welchem man die mit dem ſteigenden Druck wachſenden Grade meſſen kann. Selbſt dieſes Einlaſſen fordert übrigens große Vorſicht, das Thermometerrohr muß ſehr ſtark und die Verkittung ſehr dicht ſein.

Mittelſt dieſes Inſtruments hat man die Temperaturen des Waſſers unter ſehr hohem Druck unterſucht und hat gefunden, daß es eigentlich keine Grenze der Erhitzung des Waſſers giebt, wenn das Gefäß, worin es enthalten, nur ſtark genug iſt, um dem Drucke Widerſtand zu leiſten, den es auf ſeine Wände ausübt, ja in neuerer Zeit iſt es dem Engländer Perkins ſogar gelungen, das Waſſer bis zum Weißglühen zu bringen. Welche ungeheure Kraft die Dämpfe ſehr hoch temperirten Waſſers ausüben, kann man bei der techniſchen Anwendung der Dämpfe auf Maſchinen ſehen, für die Haushaltung möge bemerkt werden, daß die luftdichten Töpfe von Gußeiſen, welche man jetzt käuflich hat, ihrem Zwecke erſt dann entſprechen, wenn man das Ventil mit ein paar Pfunden belaſtet, die Töpfe ertragen wenigſtens drei Atmoſphären, d. h. auf den Quadratzoll 45 Pfund Druck, wenn man aber nur die Hälfte davon anwendet, ſo macht man ſchon die härteſten Rindsknochen weich und entzieht ihnen den Gallert; Fleiſch wird in ſolchem Topfe in dem dritten Theile der Zeit weich, welche für das Kochen bei offenem Geſchirr erforderlich wäre. Wird das Ventil jedoch nicht belaſtet, ſo iſt ſolch ein papiniſcher Topf nichts beſſer als ein anderer. Sehr vorſichtig muß man beim Oeffnen ſein, dies darf durchaus nicht über dem Feuer geſchehen, der abgenommene Topf muß erſt ſo weit abkühlen, daß er nicht mehr als die Temperatur des gewöhnlichen ſiedenden Waſſers hat. Verſäumt man dies, ſo kann man ſich ſehr unglücklich machen, ſich auf eine furchtbare Weiſe verbrühen.

Verdampfungswärme.

So wie das Eis, um flüſſig, um zu Waſſer zu werden, Wärme verſchluckt, ſo alle anderen Körper, wenn ſie aus dem feſten Zuſtande in den flüſſigen übergehen.

Ein ganz Gleiches findet ſtatt beim Uebergange flüſſiger Körper in Dampf. Das Waſſer, das Oel, der Weingeiſt, der Aether, bei wie verſchiedenen Graden ſie auch kochen, ſie werden immer heißer bis zu ihrem

Kochpunkt hin. Von da ab, wo sie kochen, möge man ihnen so viel Wärme zuführen als man will, heißer als kochend werden sie nicht und alle die Wärme, welche man ihnen über das Kochen hinaus zuführt, wird von den Dämpfen verschluckt, in welche sich nach und nach die Flüssigkeit verwandelt.

Diese Siedepunkte aber sind im höchsten Grade verschieden, so siedet schweflige Säure schon bei — 10 Grad, Salpeteräther bei 21 über 0 Grad, Alkohol bei 78 Grad, Wasser bekanntlich bei 100 Grad, Terpentinöl bei 156 Grad, Leinöl bei 316 Grad, Quecksilber bei 360 Grad. Auch hier macht übrigens (wie beim Wasser schon bemerkt) der Druck, unter welchem die Flüssigkeiten sieden, einen Unterschied in der Temperatur, die Wärmemenge aber, welche von dem Dampfe einer jeden Flüssigkeit verschluckt wird, um aus Flüssigkeit Dampf zu werden, die gebundene Wärme hängt nicht von dem Luftdruck, sondern von der Substanz ab und ist verschieden nach den verschiedenen Flüssigkeiten.

Man pflegt die Wärmemenge auf folgende Art zu ermitteln: der zu untersuchende Körper wird in einen Glasballon *B* gebracht, derselbe hat

Fig. 27.

einen verschließbaren Hals mit Hahn *C*, von welchem eine doppelt gebogene Röhre nach einem andern Gefäße *A* geht, in welchem eine gleiche Portion derselben Flüssigkeit, die man prüfen will, wie in *B* vorhanden ist. Das Rohr muß nicht, wie die Zeichnung es giebt, in dem Korke aufhören, sondern muß bis in die Flüssigkeit *A* hinabreichen, *B* steht dabei auf einem Ofen oder über einer Lampe, *A* in einer Schüssel mit irgend einem möglichst schlechten Wärmeleiter, Sägespäne, Spreu u. dergl. umgeben.

Man bringt nun *B* zum Kochen, bis die Luft vertrieben ist, setzt alsdann den Hahn *C* mit dem Glasrohr auf und läßt nunmehr den durch das Kochen entwickelten Dampf nach *A* in die Flüssigkeit, deren Gewichts-

menge man genau kennt, einſtrömen. Die hineingeführten Dämpfe werden nun zuerſt ſofort niedergeſchlagen, ſie kommen gar nicht zum Vorſchein, nach einiger Zeit ſieht man die Blaſen des Dampfes aus dem Rohr herauskommen, aber auch ſogleich verſchwinden, bald werden die Blaſen länger und ſie legen einen größeren Weg innerhalb der Flüſſigkeit zurück, ehe ſie verſchwinden, wobei die Flüſſigkeit immer heißer wird; endlich tritt ein Zeitpunkt ein, wo die Dämpfe durch die ganze Flüſſigkeit hindurchſtreichen, nicht mehr abſorbirt, niedergeſchlagen werden, das iſt der Kochpunkt der unterſuchten Flüſſigkeit und jetzt unterbricht man das Experiment.

Nach dem Erkalten ſieht man zu, wie viel Flüſſigkeit in dem Gefäße *A* enthalten iſt. Geſetzt man hatte urſprünglich darin 5 Pfund Waſſer von 0 Grad und hat jetzt darin 6 Pfund von 100 Grad, ſo ergiebt ſich daraus, daß das hinzugekommene Pfund Waſſerdampf von 100 Grad die vorhandenen 5 Pfund auf die Siedehitze erhoben und ſich ſelbſt dabei in Waſſer verwandelt habe. Die Hitze alſo, welche ein Pfund Waſſerdampf von 100 Grad beſitzt, genügt, um 5 Pfund Waſſer zum Kochen zu bringen.

Kochpunkt verſchiedener Körper.

Was hier als Beiſpiel angeführt worden, iſt den Zahlenwerthen nach nur annäherungsweiſe richtig, ſonſt aber vollkommen begründet; die genaueſten Ermittelungen haben gelehrt, daß ein Pfund Waſſerdampf von 100 Grad genug Wärme hat, um $5\frac{1}{10}$ Pfund Waſſer von 0 Grad zum Kochen zu bringen, daß alſo die in dem Waſſerdampf gebundene Wärme 540 Grad beträgt; dieſer ungeheure Verluſt, den das Waſſer erleidet, wenn es kocht, iſt die Urſache, daß er nicht weiter in der Wärme ſteigt als bis zu dem Kochpunkt und dies iſt auch der Grund, warum, wenn Waſſer unter einem höheren Druck ſteht (nicht verdunſten kann), es wärmer wird als 100 Grad, aber auch wieder dieſe überſchüſſige Wärme verliert, ſo wie der Druck aufhört, die Dämpfe entweichen können.

Jede Flüſſigkeit hat ihre eigene Verdampfungswärme, das Waſſer braucht die höchſte, 540 Grad C., Eſſigſäure 480, Salpeterſäure 297, Alkohol 214, Terpentinöl 80 Grad, d. h. wenn ein Pfund Terpentindämpfe von Siedehitze (158 bis 160 Grad C.) in Terpentin von 0 Grad geleitet werden, ſo bringen ſie ein Pfund davon auf 80 Grad. Alkohol, der nicht abſolut waſſerfrei iſt, ſiedet bei 80 Grad C., bringt man in ſolchem Alkohol von 0 Grad Temperatur ein Pfund Alkoholdämpfe von Siedehitze, ſo bringen ſie etwas mehr als $2\frac{1}{2}$ Pfund Alkohol zum Kochen. Wegen dieſer Fähigkeit, *viel mehr* Wärme in ihre Subſtanz aufzunehmen als die Flüſſigkeit

und dieselbe bei der Rückkehr in den flüssigen Zustand wieder abzugeben, eignen sich die Dämpfe so besonders zum Erheizen von Wohn- und Fabrikgebäuden und vor allen ist Wasser die dazu geeignetste Flüssigkeit, weil sie am meisten Vaporisationswärme aufnimmt, also am meisten abgeben kann.

Um eine Flüssigkeit in Dampf zu verwandeln, bedarf es der Siedehitze gar nicht; Wasser, in einer offenen Schale der Luft ausgesetzt, verschwindet nach und nach. Daß übrigens auch diese Verdunstung eine Function der Wärme sei, geht daraus hervor, daß dieselbe um so schneller vor sich geht, je höher die Temperatur ist, allein sie findet auch bei den niedrigsten Temperaturgraden statt, ja nicht allein bei flüssigen, sondern auch bei festen Körpern. Eis, genau gewogen und bei dem Winteraufenthalt der Nordpolexpedition in der freien Luft ausgesetzt, verlor unter sehr hohen Breiten an Gewicht und Umfang bedeutend während einiger Monate; Quecksilber, welches erst bei 360 Grad siedet, verdunstet doch noch bei — 10 Grad und zwar so bedeutend, daß eine Goldmünze, darüber aufgehängt, weiß wird. Von dieser Verdunstung aller Körper rührt die Ansicht einiger Theoretiker her, daß die Luft Partikeln aller Substanzen enthalte, daher auch die Ansicht, daß die Feuerkugeln (Meteorsteine) aus in der Luft vorhandenen Stoffen zusammengesetzt wären. Die Verdunstung ohne Siedehitze unterscheidet sich von der durch das Sieden bewerkstelligten nur in einer einzigen Art, darin nämlich, daß sie nur von der Oberfläche der Flüssigkeit stattfindet, indeß beim Sieden die Dämpfe aus der ganzen Masse, aus dem Innern der Flüssigkeit aufsteigen. Der Grund ist bei der einen Art der Verdunstung wie bei der andern die durch die Wärme verminderte Cohäsion, diese Verminderung findet in so hohem Grade statt, daß aus festen Körpern flüssige werden (daß also die Cohäsion bis auf den äußerst geringen Theil, den die Flüssigkeiten davon noch haben, verschwindet). Eine weitere Erhöhung der Wärme bringt dann noch die letzten Spuren davon zum Weichen und die Atome der flüssigen Körper trennen sich.

So wie sich eine Grenze findet, von welcher ab die Verdunstung ungehindert vor sich geht, so giebt es wahrscheinlich auch eine, wo dieselbe nicht mehr stattfindet, d. h. wo die Temperatur so niedrig ist, daß sie nicht mehr zur Trennung der Theile ausreichend ist, allein bis jetzt haben unsere Versuche noch nicht bis dahin geführt; wohl aber ist das Verdunsten aller Körper bewiesen, selbst der Metalle, man weiß, daß sie alle einen eigenthümlichen Geruch haben, diesen könnten wir nicht wahrnehmen, wenn sie nicht einen materiellen Verlust erlitten; freilich ist er so gering, daß er nicht durch das Gewicht verrathen wird, allein er muß doch stattfinden und daß

die empfindlichſte Waage ihn nicht angiebt, beweiſt nur, daß ſie nicht ein ſo feines Inſtrument iſt als die Naſe.

Wärmeleitung.

Wenn ein Körper warm wird, ſo kann es nur dadurch ſein, daß ſeine Theile die von außen empfangene Wärme nach dem Innern weiter ſchicken, von Hand zu Hand geben, fortleiten. Dieſe Leitungsfähigkeit iſt in den verſchiedenen Körpern höchſt verſchieden und ſie zu kennen, iſt für die Phyſik ſo wichtig wie für das gewöhnliche Leben.

Es giebt Körper, welche die Wärme ſo gut leiten, daß man ſie ein paar Fuß weit von dem Punkte, von welchem ſie erhitzt werden, nicht anfaſſen kann (die Metalle) und andere, welche man 2 Zoll von dem Punkte, wo ſie ſich im geſchmolzenen Zuſtande befinden, ungeſtraft halten darf (wie z. B. Glas in Röhren, Stangen ꝛc.), ja es giebt endlich Körper, welche an einem Ende in vollſter Flamme brennen und welche man in unmittelbarſter Nähe der brennenden Stelle gar nicht erwärmt findet (ein brennender Span, ein brennendes Licht, alſo Holz, Kork, Papier, Wachs, Talg ꝛc.).

Es wäre überflüſſig zu fragen, woher das kommt; unſere Kenntniſſe der Naturkräfte ſind ſo unvollkommen, daß wir überall am beſten thun, wenn wir geſtehen, daß wir nichts wiſſen und Arago hat auf die Frage, „wenn die Herren auf nichts eine genügende Antwort haben, warum ſtudiren ſie denn ſo viel?“ mit vollem Rechte antworten dürfen: „nur um mit Gründlichkeit ſagen zu können, wir wiſſen davon nichts.“ Wir kennen auch die Urſache der Leitungsverſchiedenheit nicht, denn die darüber verbreiteten Anſichten ſind durchaus unhaltbar, es giebt nicht einmal feſtſtehende Geſetze. Es ſoll z. B. der dichtere Körper die Wärme beſſer leiten als der locker gewebte, alſo die Metalle beſſer als die Steine.

Darin ſcheint etwas zu liegen — dies iſt Thatſache — nun wie kommt es denn, daß der dichteſte unter den bekannten Körpern, Platina, unter allen Metallen am ſchlechteſten leitet? und daß der nächſte ſchlechte Wärmeleiter unter den Metallen, nicht etwa das nächſt ſchwere Gold, ſondern das nur ⅛ ſo ſchwere Eiſen iſt, wie kommt es denn, daß der dieſem an Dichtigkeit zunächſt ſtehende Körper, das Kupfer, die Wärme am beſten leitet und dann das dem Platina beinahe gleiche Gold und zuletzt das zwiſchen beiden ſtehende Silber? Die Leitungsfähigkeit wird nach anderen Verſuchen um etwas verſchieden angegeben, doch im Ganzen mit dem hier beſchriebenen

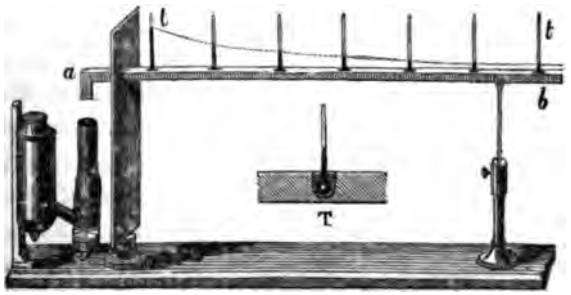
übereinstimmend und keineswegs so, daß eine Annäherung an eine Gesetzmäßigkeit gefunden würde.

Es ist mit der Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten auch so, man hat diesen dieselbe sogar bestritten, je nachdem man mit ihnen experimentirte. Rumford glaubte sagen zu dürfen, Wasser leite die Wärme sehr gut, weil ein Kessel mit Wasser über Feuer gesetzt bald warm, heiß, kochend wird. Als er das Experiment in einem Glase wiederholte, sah er die Strömungen der erwärmten Wassertheile und machte daher den Versuch umgekehrt, er brachte die Wärmequelle oben über dem Wasser an, dabei fand keine Spur einer Temperaturerhöhung der untersten Schichten des Wassers statt und sogleich sagte Rumford: „das Wasser leitet die Wärme gar nicht und bei diesem Ausspruch blieb es lange Zeit, bis ein Mönch des Schottenklosters zu Erfurt, Namens Gordon, durch einen ingeniösen Versuch doch die Leitungskraft des Wassers bewies. Zwei Gläser von ungleicher Größe stellte er in einander und füllte den Zwischenraum mit Wasser, das er gefrieren ließ. Er nahm nun die Gläser ab und hatte dadurch ein Gefäß von Eis. Dieses leitet die Wärme bis 0 Grad gar nicht, denn es schmilzt dabei (niedere Grade leitet es, denn es kann durch und durch — 10, 30, 60 Grad kalt werden, höhere kann es nicht leiten, weil es dabei zu existiren aufhört). In das Eisgefäß füllte er nun Wasser und brachte die Kugel eines Thermometers nahe unter die Oberfläche, über welche er ein Stück Eisen hielt. Das Thermometer stieg dabei ein wenig, es war mithin eine Wärmeleitung vorhanden, die nicht durch das Gefäß bedingt war, denn dieses war nicht wärmeleitend. So vieler Umstände hatte es bedurft, um hinter eine einzige Thatsache zu kommen. Alle anderen Thatsachen, diesen Gegenstand betreffend, liegen aber nicht weniger fern, sind nicht mit geringerer Mühe erforscht.

Wärmeleitung fester Körper.

Metalle leiten im Ganzen besser als sonstige Mineralien, wie aber, nach welchem Gesetz? Biot suchte dies zu ermitteln, er ließ eine Eisen-

Fig. 28.



stange von etwa 7 Fuß Länge von *a* bis *b* (Fig. 28) von Fuß zu Fuß mit Vertiefungen versehen, und in jede Vertiefung steckte er ein Thermometer (*T* derselben Figur zeigt diese Anordnung etwas deutlicher). Die Vertiefung wurde demnächst mit Quecksilber ausgefüllt, damit eine desto häufigere Berührung der erwärmten Theile der Stange mit dem Thermometer vermittelt werde, nun ward das Ende der Stange *a* in kochendes Wasser gebracht und dann beobachtet.

Siehe, die Beobachtung ergab, daß Biot — der gelehrte Biot, sich in allen seinen Voraussetzungen geirrt hatte. Die Eisenstange wurde nicht bis *b* hin erwärmt, die Temperaturabnahme von *a* bis *b* bildete keine Curve, keine gekrümmte Linie, aus deren respectiven Entfernungen von der gerade verlaufenden Eisenstange man ein Gesetz hätte ableiten können; nicht einmal das zweite Thermometer wurde (nach stundenlanger Erwärmung des Endes *a*) bemerkbar erwärmt.

Der Versuch wurde nunmehr in Etwas abgeändert; die Stange reducirte man auf ungefähr 27 Zoll (7/10 Metre), bohrte die Löcher immer nur ein Decimetre (3 und 8/10 Zoll) von einander entfernt in die Stange, brachte das Ende *a* derselben nicht in kochendes Wasser, sondern über eine Argand'sche Lampe, deren Hitze über 500 Grad stieg und dennoch war erst nach vollen 6 Stunden eine bemerkbare Temperaturerhöhung bei dem letzten Thermometer angelangt und es stellte sich ein Gesetz heraus, daß die Entfernungen in

der arithmetischen Reihe	1,	2,	3,	4,	5,	6,	entsprachen
Temperaturen, abnehmend	66,4	46,3	32,6	24,5	18,6	16,2	in geometrischer Reihe.

Man muß aber ja nicht glauben, daß hiermit etwas gewonnen wäre, denn je besser ein Metall leitet, je mehr nähert es sich nur der als Gesetz aufgestellten Regel und je schlechter die Wärmeleitung ist, desto mehr entfernt sich die Praxis von der Theorie und für andere Körper als Metalle gilt das ganze gefundene oder wenigstens aufgestellte Gesetz gar nicht.

Schlechte Wärmeleiter.

Schon die übrigen Mineralien, Sandstein, Marmor, Basalt ꝛc. sind nicht in die Reihe so leitender Körper einzuschalten, nun vollends Thon und Kreide, wenn sie trocken sind, leiten dieselben beinahe so schlecht wie Glas oder Holz und an dieses letztere schließen sich die organischen Körper insgesammt an, welche alle die Wärme überaus schlecht leiten. Auf dieser Eigenthümlichkeit der gedachten Stoffe beruht denn auch der Schutz, den wir gegen

die Kälte finden in der Bekleidung, denn sie besteht durchweg aus organischen Substanzen.

Der Laie wird vielleicht sagen: ja, der Kälte aber nicht der Wärme; allein erstens ist diese Einwendung durchaus unwissenschaftlich, denn Kälte und Wärme sind in gar nichts verschieden, es ist als ob man sagen wollte, die Kraft, welche Wasser von 0 bis 100 Grad erwärmt, sei etwas anderes als diejenige, welche Quecksilber von 100 auf 200 Grad bringt — es ist als ob man sagen wollte, Wärme sei etwas anderes als Hitze. Es handelt sich ja überhaupt nur um Grade und es sind die Begriffe, die man mit „Kälte" und „Wärme" verbindet, ja nur von dem Nullpunkt des Thermometers herrührend, so daß diejenigen Grade, welche wir gewöhnlich schon mit den Ehrentitel Kälte belegen — 10 oder — 15 Grad, nach dem Fahrenheitschen Thermometer noch immer Wärmegrade sind; zweitens ist auch dieser Unterschied in sofern nicht statthaft, als diejenigen Stoffe, welche der „Kälte" den Zugang verwehren, ihn auch der Wärme nicht gestatten.

Unter allen Körpern scheint die Wärme am schlechtesten die atmosphärische Luft zu leiten; dies ist in einem so außerordentlich hohen Grade der Fall, daß Rumford es wagt, die Behauptung aufzustellen, die schlechten Wärmeleiter seien es nur in sofern, als sie porös wären und Luft in ihren Poren enthielten.

Es ist Etwas daran, ob aber dies „Etwas" durchgreifend genannt werden könne — ist allerdings fraglich. Die Federn, welche den Vogel bekleiden, sind, je nachdem er den heißen, den temperirten oder den kalten Zonen angehört, sehr verschieden. Die Daunen, mit welchen die Eidergans ihr Nest füttert, sind so weich, so elastisch, daß 1 Pfund genügt, um ein seidenes Bettdeck damit anzufüllen. Noch sehr gut sind die Daunen der Gänse in Mitteleuropa, obschon man, um einen gleichen Raum zu füllen, vier bis fünf Mal so viel braucht; d. h. die Gans in Frankreich, Deutschland, Polen, braucht, um sich gegen den Winterfrost zu schützen, bei Weitem keines so schlechten Wärmeleiters, als die Eidergans auf den Felsen um Island und Norwegen.

Wollte man aber bei einer Gans oder Ente auf den Antillen, auf dem Amazonenstrome, nach Daunen suchen, so würde man wohl nicht viel finden; sie sind den dort heimischen Thieren gar nicht eigen und dahin verpflanzte europäische Thiere verlieren bei der nächsten Mauserzeit den ganzen Flaum und bekommen ihn gar nicht wieder. Die Federn, welche die Vögel der tropischen Zone haben, sind platt, fest, hart, liegen dicht am Körper, bergen nicht viel Luft. Wer aber an diesen Thatsachen nicht genug hat, der möge den *zahmen* Kanarienvogel oder den wilden Sperling beobachten,

wie er sich gegen die Nachtkälte schützt, er bläst sein Federkleid so auf, daß er drei Mal so dick wird als er im wachen Zustande ist, zwischen jeder und der andern Feder befindet sich eine Schicht Luft und diese, unbeweglich, eingeschlossen, verhindert die Körperwärme zu entweichen. Es ist mit den Säugethieren, hinsichts ihrer Behaarung ebenso, bis auf den Elephanten, das Nashorn, das Nilpferd und die amerikanischen Hunde, sind alle behaart, allein höchst verschieden nach den Zonen; die Behaarung ist um so weicher und wolliger, je weiter das Thier polwärts wohnt, zuletzt kommt sogar eine doppelte Behaarung, nämlich eine solche mit zarten, weichen, gekräuselten Haaren und eine dazwischen gesäete straffe, welche dient, diese weichere locker und vom Körper abstehend zu erhalten, gewissermaßen der Waizen in dem Erbsenfelde, an dessen vereinzelte und darum deste stärkere Halme die Erbsen sich emporranken können. In den Tropenländern ist das Haar der Thiere ganz kurz und glatt, es wärmt gar nicht und das Thier bedarf der Erwärmung auch nicht.

Der Mensch benutzt diese Eigenschaft der Luft nicht genug, er bedient sich derselben nur bei den Doppelfenstern und Thüren, er könnte sie jedoch hundertfältig anwenden und würde nur um so besser thun, je mehr es geschähe, allein es drängt sich ihm diese Eigenschaft von selbst auf. In den heißen Ländern, wo es ihm an Holz fehlt, baut er aus Stein und in den kalten Ländern wählt er das die Wärme sehr viel schlechter leitende Holz. Der gemeine Russe wohnt in seiner Holzhütte, in seinem Blockhause von hochkantig auf einander gelegten vierzölligen Bohlen viel wärmer als der Reiche in seinem Palast aus polirtem Granit, ja dieser letztere wäre sehr unglücklich, wenn das Holz in eben diesem Lande nicht fast preislos wäre, wodurch es ihm möglich wird, seinen Palast vom Keller, wo der Ofen steht, bis zum Dachraum zu durchheizen.

Unsere Doppelfenster sind eine auf die geringe Leitungsfähigkeit der Luft gestützte sehr zweckmäßige Einrichtung, in Rußland weiß man Doppelfenster aber noch viel besser zu machen als bei uns. Die Dicke der Luftschicht ist überhaupt nicht sehr wesentlich, man bringt daher in demselben Fensterflügel doppelte Scheiben an, wenn derselbe z. B. deren drei hätte, so würden sie auswendig eingelassen und wie gewöhnlich eingekittet, dann aber auch im Innern, einen Zoll von der äußeren Scheibe entfernt, auf demselben Rahmen und zwischen denselben Sprossen drei andere eingesetzt, so daß zwischen jeder äußeren und inneren Scheibe ein ein Zoll dicker Luftraum ist.

Diese Einrichtung hat das Angenehme, daß die Fenster nie befrieren, weil die äußere Scheibe und die Luft zwischen dieser und der inneren die Kälte

von Außen abhält und weil zwischen beiden Scheiben nicht Feuchtigkeit genug vorhanden ist, um die äußere Scheibe damit zu belegen.

Auch unsere wärmenden Kleider schützen meistentheils nur durch die in dem Gewebe eingeschlossene Luft, darum schützt ein Pelz mehr als ein wattirter, dieser mehr als ein Tuchrock, aber ein guter Mantel macht dies Alles entbehrlich, denn bei seiner Weite verhindert die in seinen Falten eingeschlossene Luft die Entweichung der Körperwärme, und in anderer Art wärmt ja die Bekleidung überhaupt nicht, als daß sie die thierische Wärme zusammenhält.

Specifische Wärme.

Ausgeschlossen von aller Leitung und sonstiger Verbreitung nach außen ist die sogenannte specifische Wärme, ein Eigenthum der Körper, von denen jeder seinen besonderen Antheil derselben dergestalt bekommen hat, daß man ihn daran erkennen kann, denn die specifische Wärme ist gradweise meßbar und jeder Körper hat davon seine bestimmte Menge, so wie jeder Körper sein bestimmtes specifisches Gewicht hat.

Wenn man 1 Pfund Wasser von 60 Grad R. zu 1 Pfund Wasser von 0 Grad gießt, so bekommt man 2 Pfund von 30 Grad. Würde man statt 1 Pfund Wasser von 0 Grad 1 Pfund Eis von derselben Temperatur nehmen, so erhielte man auch 2 Pfund Wasser zum Resultate der Mischung, allein nicht von 30, sondern von 0 Grad. Es hätte das Eis alsdann die 60 Grade der ihm bei seiner Verbindung mit dem Wasser als Brautschatz zugebrachten Wärme ausschließlich zu seinem eigenen Vortheil verwandt; diese verschwundenen 60 Grade sind derjenige Antheil, welchen das Eis braucht, um *flüssig* zu werden, um sich in Wasser umzuwandeln; wir haben sie als Flüssigmachungs- oder Liquefactionswärme bereits kennen gelernt.

Etwas anderes ist es mit zwei gleichartigen Flüssigkeiten: die 2 Pfund Wasser theilen sich brüderlich in das Vermögen und hätte das eine Pfund nicht 0 Grad sondern 20 und das andere 60 Grad, so würden beide 40 Grad haben und so in jedem beliebigen Falle.

Wenn man nun 1 Pfund Quecksilber von 100 Grad mit 1 Pfund Wasser von 0 Grad mischt — was ist natürlicher, als daß man erwartet, das Gemisch (wenn man so sagen darf) auf 50 Grad temperirt zu finden, man würde sich in seiner Erwartung im höchsten Grade getäuscht sehen — die beiden Flüssigkeiten haben nicht mehr als *drei Grad*. Umgekehrt, wenn

man 1 Pfund Wasser von 100 Grad mit 1 Pfund Quecksilber von 0 Grad mischt, so wird die Temperatur beider ganz nahe an 97 Grad sein.

Wenn man zwei verschiedene Gefäße von Eisenblech, das eine mit Wasser, das andere mit Quecksilber gefüllt, auf einen geheizten Ofen setzt, so wird in kurzer Zeit das Quecksilber so heiß sein, daß man es nicht berühren kann, indessen das Wasser kaum seine Temperatur verändert hat. Nach langer Zeit werden allerdings beide Flüssigkeiten auf dieselbe Temperatur kommen, es ist daher unrichtig, wenn man sagt: Quecksilber werde 33 Mal so heiß als Wasser — alle Körper nehmen nach und nach die Temperatur des Raumes an, in dem sie sich befinden — allein viele Körper nehmen diese Temperatur viel langsamer als andere an (dies ist Sache der Leitungsfähigkeit) und viele brauchen oder verschlingen eine zehn- bis zwanzig-, ja dreißigfach größere Wärme als andere, um sich auf dieselbe Temperatur zu erheben; dies ist die specifische Wärme und sie ist beim Wasser unter allen flüssigen, festen und luftförmigen Körpern am größten; es giebt unter diesen letzteren nur eine einzige Ausnahme und sie ist darum besonders interessant, weil sie gerade den allerleichtesten unter allen bekannten Körpern, den Wasserstoff, trifft, dieser hat merkwürdiger Weise beinahe die vierfache specifische Wärme wie das Wasser ($3\frac{9}{10}$), sonst haben sie alle nur einige Hunderttheile, die reichsten einige Zehntheile der specifischen Wärme des Wassers.

Auffindung der specifischen Wärme.

Um diese specifische Wärme zu finden, bedient man sich mehrerer verschiedener Methoden, von denen die eine so eben angeführt worden, es ist die Mischungsmethode.

Man nimmt einen allgemein bekannten Körper als Einheit an und fragt sich nun: wie viel freie fühlbare Wärme muß ich diesem Körper zuführen, um ihn durch einen andern bis auf einen gewissen Grad zu erwärmen? Wasser ist die Einheit. Wenn 1 Pfund Wasser durch 1 Pfund Eisenfeilspäne von 0 bis 4 Grad erwärmt werden soll, wie hoch muß die Temperatur der Eisenfeile sein?

Versuche und Rechnungen haben dahin geführt, daß man dies jetzt so gut wie vom Quecksilber auch von andern Substanzen weiß; das Pfund Eisenfeile muß eine Temperatur von 36 Grad haben, um mit dem Wasser von 0 Grad eine Masse von 4 Grad zu geben. Vier Grad behält das Eisen selbst, es sind mithin an das Wasser 32 Grad abgegeben; um es

auf 1 Grad zu erhöhen, würde also das Eisen 9 Grad zeigen müssen, d. h. das Wasser hat eine 8 Mal größere Wärmecapacität.

Obwohl man durch diese Methode zu einer großen Anzahl von guten Resultaten gekommen ist, so bedarf es doch einer nicht unbedeutenden Geschicklichkeit im Experimentiren, um nicht Verluste an Wärme, theils durch Verdunstung der Flüssigkeiten, theils durch Ausstrahlung, hauptsächlich aber durch Abgabe der Wärme an die Gefäße, in denen man die Mischung vornimmt, zu erleiden, man ist daher auf die Methode der Eisschmelzung gekommen, welche bei Weitem sicherer ist, indem man die Menge Wärme, welche dazu gehört, um eine Quantität Eis von 0 Grad in Wasser von 0 Grad zu verwandeln, genau kennt, mithin bei der Eisschmelzung sehr bestimmt sagen kann — da so und so viel Eis geschmolzen ist, hierfür aber die bestimmte Quantität von 60 Grad R. oder 75 Grad C. erforderlich, so muß der geprüfte Körper so und so viel hergegeben haben.

Das Calorimeter.

Das Instrument, welches dabei angewendet wird, ist das Calorimeter.

Fig. 29 und 30 zeigen dasselbe sowohl äußerlich, als hinsichtlich seiner inneren Einrichtung. *M* ist der innerste Raum von sehr dünnem

Fig. 29.

Fig. 30.

Messing- oder Kupferblech, in welchen diejenige Substanz gebracht wird, deren Wärmewirkung man kennen lernen will. Das Gefäß kann zugedeckt werden und befindet sich in einem zweiten, dasselbe ganz umgebenden Gefäße, welches Eis von 0 Grad enthält *AA*. Auch dieses Gefäß ist zugedeckt.

Man will nun ermitteln: wie viel wird von dem Eise durch 1 Pfund

Kupfer, von da wo es 80 Grad heiß hinein kommt, bis es auf 0 Grad erkaltet ist, geschmolzen? Das Product der Verbindung der Wärme mit dem Eise, Wasser von 0 Grad, fließt durch den Canal *D* ab, allein man wird auf solche Art kein richtiges Resultat erlangen, denn das Eis kann ja eben so gut durch die Wärme des Zimmers und durch die Wärme des Experimentators, der sich mit dem Gefäße und der Wärmemessung beschäftigt, geschmolzen werden. Um dies zu verhindern, setzt man das Eisgefäß noch in ein Gefäß mit Eis *BB*, welches nun vollständig die äußere Einwirkung abschneidet, also das Experiment auch von der entgegengesetzten Seite nicht unrichtig werden läßt, da nämlich die äußere Kälte das Wasser, welches durch Schmelzung im Innern erzielt, wieder gefrieren machen könnte. Der Eisraum *B* dient, um jeden Einfluß von außen abzuhalten, die Temperatur desselben ist lange Zeit constant, auch wenn man das Experiment im warmen Zimmer macht, denn so lange noch Eis darin enthalten, wenn auch der größte Theil desselben schon geschmolzen ist, hat der Raum und das ihn erfüllende Wasser doch immer nur die Temperatur von 0 Grad, keine höhere, keine niedere und diese will man ja haben.

Aber die Methode zeichnet sich überhaupt durch viel größere Brauchbarkeit, d. h. durch viel weiter gesteckte Grenzen derselben aus. Man kann durch die Mischungsmethode nicht erfahren, wie viel Wärme ein brennendes Licht, ein lebendes Thier in einer gewissen Zeit entwickelt, dies geht aber durch das Calorimeter sehr gut; eines wie das andere bringt man in das innerste der drei Gefäße und beläßt es darin eine Zeit lang; natürlich ist diese Zeit sehr beschränkt, denn ein Kaninchen kann in einem Raum, der nicht mehr als doppelt so groß als das Thier selbst ist, nicht lange athmen und ein brennendes Licht hat den vorräthigen Sauerstoff bald verzehrt; allein man kann auch in dieser kurzen Zeit Beobachtungen anstellen, welche ziemlich sichere Resultate geben und es haben namentlich Lavoisier und Laplace auf diesem Felde sehr Ausgezeichnetes geleistet, woraus sich zu ergeben scheint, daß die Wärme, welche organische, lebende Körper frei machen, ihren Hauptgrund darin habe, daß sie eine große Quantität Wasser aufnehmen und in andere Stoffe verwandeln, welche alle (Zucker, Gallert, Eiweis) eine viel geringere specifische Wärme haben als das Wasser, und das Hauptsächlichste scheint sogar der Wasserstoff dazu beizutragen, welcher, wie wir oben gesehen haben, 4 Mal so viel Wärmecapacität als Wasser hat.

Noch eine dritte Methode, diese Wärme zu bestimmen, ist die der Abkühlung gleicher Menge unter gleichen Umständen, das Resultat wird aus den Zeitunterschieden gewonnen.

In eine Hohlkugel von sehr dünnem Metall, welche schön polirt ist

und an einem Faden frei aufgehängt werden kann, bringt man nach einander verschiedene Flüssigkeiten von ganz gleicher Temperatur, Wasser, Weingeist, Salzlösungen ꝛc., jede von 80 Grad, und sieht zu, welche Zeit eine jede der Flüssigkeiten braucht, um bis auf eine gewisse Temperatur herab zu sinken. Wenn nun z. B. eine Flüssigkeit sich doppelt so schnell abkühlt als eine andere, so wird sie halb so viel Wärme enthalten als die andere. Gesetzt, in einem Zimmer von der Temperatur des Gefrierpunktes käme Wasser von 30 Grad auf 0 Grad herab in einer Stunde, Terpentin aber in 24 Minuten (d. h. in $^1/_{10}$ Stunden), so würde man schließen müssen, das Terpentinöl habe nur $^1/_{10}$ der specifischen Wärme des Wassers; kommt Alkohol erst in 36 Minuten auf dieselbe Temperatur, so ist der Schluß, derselbe habe $^6/_{10}$ der specifischen Wärme des Wassers, ganz richtig.

Wärmecapacität.

Diese Fähigkeit, verschiedene Mengen Wärme aufzunehmen, die Wärmecapacität, ist übrigens keine feststehende Größe, sie ist von der Dichtigkeit des jedesmaligen Körpers abhängig. Alkohol hat nicht $^6/_{10}$ der Wärmemenge des Wassers, weil er nur $^6/_{10}$ von dessen specifischem Gewicht hat, dies Verhältniß findet gar nicht statt — wohl aber hat Wasser, welches unter einem Druck von 10 Atmosphären steht, eine kleinere Wärmecapacität als dasjenige, welches unter dem gewöhnlichen Drucke der Luft steht.

Wäre das erste richtig, so müßte Platin eine 20 Mal geringere Wärmecapacität haben als Wasser und Wasserstoff nicht eine 4 Mal, sondern eine 11,200 Mal größere; allein Wasserstoff auf einen zehnfach geringeren Raum gebracht, hat eine viel geringere Wärmecapacität als Wasserstoff von der Hälfte der Spannung, die es gewöhnlich hat. Es beruht hierauf die Erwärmung durch das Zusammendrücken, welches bei den Gasen so weit gehen kann, daß ihre frei werdende Wärme leicht entzündliche Körper zum Glühen bringt, bei festen wenigstens so weit, daß sie erwärmt, erhitzt werden.

So wie aber die Zusammendrückung Wärme frei macht, so bindet umgekehrt die Verdünnung Wärme und so wie man das Erstere am besten bei den pneumatischen Feuerzeugen zeigen konnte, so kann man das andere auch an Gasen viel besser als an andern Körpern zeigen. Es ist hiervon bereits gehandelt worden, der eigentlich hierher gehörige Versuch wird jedoch mit der Luftpumpe gemacht. Ein empfindliches Thermometer in einer recht schmalen Glocke aufgehängt, aus welcher man mittelst einer Luftpumpe die Luft recht schnell auszieht, sinkt sogleich bemerklich und steigt wieder, wenn man Luft zutreten läßt.

Bei Flüssigkeiten läßt sich ein solcher Versuch nicht anstellen, weil sie zu wenig zusammendrückbar sind, allein auch für sie ist die Thatsache dadurch erwiesen, daß sie mehr Wärme fordern, um von 100 auf 101 Grad erhoben zu werden, als man ihnen zuführen muß, um sie von 0 auf 1 Grad zu bringen, sie sind nämlich bei 100 Grad um ein Beträchtliches größer, ausgedehnter, ihr Volumen hat sich vermehrt und hierdurch ist eine größere Wärmecapacität, eine vermehrte Fähigkeit, Wärme aufzunehmen, vorhanden.

Da die Körper, so wie ihre Wärmecapacität verringert wird, diejenige Wärme entlassen, welche sie zu viel haben für ihren neuen Zustand, so kann man hieraus diejenigen Ursachen ermitteln, welche die Wärmecapacität verändern.

Wenn man concentrirte Schwefelsäure mit Wasser vermischt, so entsteht eine bedeutende Temperaturerhöhung, die Säure bemächtigt sich des Wassers und macht seine Wärme frei; ist die Säure rauchend und gießt man sie nicht in Wasser, sondern umgekehrt das Wasser in die Säure, so entsteht eine gefährliche Explosion. In der Nordhäuser Säure ist immer wasserfreie Schwefelsäure enthalten, diese rafft das Wasser mit Gewalt an sich und es wird nicht nur seine specifische Wärme, sondern auch seine ganze Liquefactionswärme entbunden, diese bringt die nächsten Antheile der Flüssigkeit zum Kochen, ja zum Detoniren und die Säure wird weit umher geschleudert und kann großen Schaden verursachen.

Wenn man geglühten Kalk mit Wasser begießt, so entsteht die gewaltige Erwärmung, von welcher wir bereits oben, bei den Ursachen der Wärme, gesprochen haben, sie hat ihren Grund genau in dem vorhin Angegebenen. Der größte Theil der specifischen Wärme wird frei, weil das entstehende Kalkhydrat bei Weitem nicht so viel Wärmecapacität als das Wasser hat und die ganze Flüssigmachungswärme wird frei, weil das Wasser seinen Aggregatzustand verläßt, aus einem flüssigen Körper ein fester Körper wird.

Umgekehrt kann auch durch ähnliche Verbindungen die Wärmecapacität bedeutend erhöht werden; alsdann entsteht Kälte, wie wir oben gesehen haben. Salzsäure auf Schnee gegossen, verbindet sich mit diesem zu verdünnter Salzsäure, welche an sich eine größere Wärmemenge aufnehmen kann als die concentrirte, und die Salzsäure schmilzt den Schnee, welcher, um in den flüssigen Aggregatzustand überzugehen, bekanntlich 60 Grad R. oder 75 Grad C. bedarf, diese der nächsten Umgebung raubt und dadurch Kälte erzeugt.

Verdunstungskälte.

Wir haben gesehen, daß die Körper, um flüssig zu werden, bedeutender Antheile von Wärme bedürfen, daß dies noch mehr der Fall ist, wenn sie aus dem flüssigen Zustande in Dampf übergehen. Diesem Letztern, der Verdampfungswärme, steht die Verdampfungskälte gegenüber. Verdampfende Körper erzeugen Kälte.

Sollte hier nicht ein auffallender Widerspruch stattfinden? man kann bekanntlich, wenn man Kopfschmerzen hat, die heiße Stirn nicht besser kühlen, als wenn man sie mit einer recht schnell verdunstenden Flüssigkeit benetzt. Wenn man eine Thermometerkugel mit einem Flockchen Baumwolle bewickelt und dies mit Schwefeläther benetzt, so ist die Verdunstungskälte so groß, daß Franklin sagen konnte, er wolle sich verbindlich machen, einen Menschen im hellen Sonnenschein erfrieren, zu einem Eisklumpen erstarren zu lassen; die durch Verdunstung des Aethers erzeugte Kälte ist aber viel größer als hierzu erforderlich, sie geht so weit, daß man das Thermometer im heißen Sommer von 30 Grad Hitze nicht nur auf 0 Grad sondern auf — 20 Grad, ja wenn man die Benetzung unterhält oder die Verdunstung durch die Luftpumpe befördert, bis auf — 30 Grad sinken sieht, eine Temperaturdifferenz von vollen 60 Graden, welche natürlich noch viel weiter getrieben werden kann, da der Anfangspunkt gleichgültig ist; wenn die Temperatur, in welcher sich das Thermometer befand, 50 Grad war, so würde das Thermometer durch die Verdunstung des Aethers unter der Luftpumpe doch auf — 30 Grad gebracht werden können, dann beträgt seine Verdunstungskälte also 80 Grad.

Dies ist offenbar ganz paradox, die Natur befindet sich in einem Widerspruch, da man dies von der Natur aber nicht gewohnt ist, indem sie es nicht liebt, ihren eigenen Gesetzen zuwider zu handeln, so wird man wohl thun, sich den Gegenstand etwas näher anzusehen. Verdunstungskälte und Verdunstungswärme ist ganz genau dasselbe. Die Wärme, welche der Aether braucht, um zu verdampfen, ist seine Verdampfungswärme. Diese Wärme muß er doch irgend wo herbekommen, er kann sie nicht selbst machen — derjenige Körper, von welchem der Aether die ihm nöthige Wärme nimmt, wird dadurch erkaltet, das ist die Verdunstungskälte — ein und dasselbe Capital, welches der Gläubiger nimmt und dadurch der Schuldner verliert.

In der Natur ist dies von der größten Wichtigkeit, der ganze Austausch der Feuchtigkeit zwischen Erde und Luft, die Ernährung der Pflanzen in regenlosen Gegenden durch reichlichen Thau, die Abkühlung, welche erhitzte

Thiere durch den Schweiß erfahren ꝛc., beruht auf dieser Verdampfungswärme, welche der eine Körper an sich reißt und auf dieser Verdampfungskälte, welche der andere Körper erleidet. Die Thätigkeiten und Erscheinungen sind auch vollständig reciprok. Der flüssige Körper, dem Wärme zugeführt wird, verdunstet, der flüssige Körper, welcher verdunstet, rafft Wärme an sich. Der dampfförmige Körper, dem man Wärme entzieht, wird flüssig — der dampfförmige Körper, der flüssig wird, ohne daß man ihm Wärme entzieht, giebt dieselbe freiwillig ab. (Dampf, den man durch mechanischen Druck verdichtet, macht das Gefäß, in welchem dies geschieht, warm, heiß.)

In dem bisher Gesagten wird man zweierlei Wärme erkannt haben, eine fühlbare, welche uns das Thermometer angiebt, welche unsere Nerven anspricht und eine unfühlbare, dem Körper eigenthümliche. Die erstere kommt dem Körper dadurch zu, daß er die Temperatur der Umgebung annimmt, für diese gelten die Gesetze der Wärmeverbreitung durch Leitung, von welcher wir gesprochen haben und durch Strahlung, von welcher wir noch handeln werden. Die andere Wärme ist gewissermaßen chemisch mit dem Körper verbunden, sie macht sich dem Thermometer, der Hand nicht fühlbar — ein Thermometer in einer Tasse Wasser, welches so eben aus Eis zusammen gelaufen ist und dasselbe Thermometer in dem Stück Eis, von welchem das Wasser abgeschmolzen, zeigen genau denselben Standpunkt, obschon das Wasser nachweislich 75 Grad C. mehr in sich hat als das Eis. Man vermag dieselbe nicht zu erkennen, eben so wenig wie sich in dem Glaubersalz die Schwefelsäure und das Natron, oder in dem Küchensalz das Chlor und das Natriummetall erkennen läßt. Die Körper sind mit der Wärme verbunden wie die Elemente unter sich, darum nennt man sie auch gebundene, latente Wärme und die andere, am Thermometer wahrnehmbare, nennt man freie Wärme.

Diese freie Wärme ist es, welche den Gegenstand der nachfolgenden Betrachtung ausmacht.

Strahlung der Wärme.

Die Wärme kann mitgetheilt werden durch Leitung in unmittelbarer Berührung zweier verschieden warmer Körper, sie kann aber auch aus der Ferne mitgetheilt werden, wie wir diejenige Wärme bekommen, welche die Erde bewohnbar macht, von der Sonne, wie wir in unseren kleinen und beschränkten Verhältnissen sie empfangen von dem Kaminfeuer, von dem weißglühenden Eisen, nämlich durch Strahlung.

Wie der Schall geradlinig fortgeschickt, von seinem Wege abgelenkt, durch Widerstand zurückgeworfen, durch andere Mittel gebrochen werden kann, gerade so auch die Wärme. Sie verbreitet sich wie die Radien einer Kugel von dem Punkte, wo sie aufgehäuft ist, nach allen Seiten in geraden Linien. Steht auf diesem ihrem Wege irgendwo eine zurückwerfende Fläche, ein Wärmespiegel (wie es auch Schallspiegel giebt), so wird sie von diesem Wege abgelenkt.

Allerdings muß ein Wärmespiegel anders sein als ein Schallspiegel — der letztere kann von dem Maurer oder von dem Buchbinder gemacht werden, er kann von Mörtel, Holz, Metall, Pappe sein und ist immer gleich gut, denn die zu reflectirenden Vibrationen der Luft sind im Vergleich mit denen der Wärme, gewaltig grob, darum muß der Wärmespiegel auch viel feiner gearbeitet, er muß von Metall, einer sehr richtigen Form und sehr hoher Politur sein.

Von den Wirkungen der zurückgeworfenen Sonnenwärme haben wir bereits gesprochen, hier handelt es sich um feinere Untersuchungen, um die Gesetze der Wärmestrahlung.

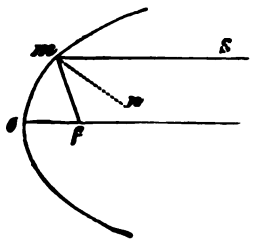
Wenn man einen elastischen Körper gegen eine gerade Wand wirft, so springt er unter demselben Winkel zurück, unter welchem er gegen die Wand geflogen ist. Ein Jeder hat als Knabe dies beim Ballspiel, als Jüngling und Mann beim Billardspiel gesehen; so, genau so, ist es auch beim Schall und bei der Wärme; wenn ein Wärmestrahl in irgend einer beliebigen Richtung auf eine polirte Fläche fällt, so wird er von derselben unter dem nämlichen Winkel zurückgeworfen, will man vorher die Richtung bestimmen, in welcher er von der reflectirenden Fläche zurückkehren wird, so errichtet man auf dieser Fläche in demjenigen Punkte, in welchem der Strahl die Fläche berührt, eine senkrechte Linie und zieht nun auf der andern Seite derselben, in der Ebene, in welcher sowohl die senkrechte Linie als der einfallende Strahl liegt, eine Linie von dem Berührungspunkte des Strahles mit der Ebene so aufwärts unter dem Winkel, wie der einfallende Strahl abwärts einen Winkel mit der senkrechten Linie macht.

Spiegelung, Reflex.

Diesen vorgeschriebenen Weg wird der Strahl gehen, sobald er Freiheit dazu hat, sobald er nicht gehindert wird und es ist gleichgültig, welche Form die Fläche hat, ob gerade, gewölbt, vertieft, erhaben, immer ist die senkrechte Linie das Maßgebende, dasjenige, von welchem bei Bestimmung des Winkels *ausgegangen* werden muß.

Wenn die gekrümmte Linie der Fig. 31 einen Spiegel von hohler Form darstellt und es fällt ein Schall-, Wärme- oder Lichtstrahl Sm darauf, so kann man genau bestimmen, wohin er gehen wird, man errichtet auf dem

Fig. 31.

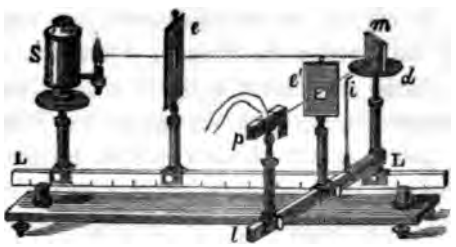


Punkte m eine senkrechte Linie mn und zieht — indem man den zweiten Winkel an m dem ersten durch den Strahl und die Senkrechte gebildeten Winkel Smn gleich macht — die Linie mf; dies ist die Richtung, in welcher der Strahl Sm von dem Spiegel zurückkehren wird.

Es ist gleichgültig, in welchem Punkt der Spiegel getroffen wird; fällt der Strahl in der Richtung der Axe of auf denselben, so wird der Strahl immer nach f gelenkt werden, fällt dagegen ein Strahl aus dem Punkte f auf den Spiegel, so wird er parallel mit der Axe zurückgeworfen. Dies Gesetz gilt durchgreifend für alle Fälle, in denen der Spiegel kugelförmig hohl ist und gilt für alle Arten von Strahlen; die genaueren Bestimmungen gehören in die Optik, für unsern Gegenstand aber genügt das Gesagte, obwohl es keineswegs genau ist und daher in der Optik, welche mathematische Schärfe verlangt, nicht angewendet werden kann.

Gehen wir mit dem hier erworbenen Begriff vom Reflex in der Lehre von der Wärme einen Schritt weiter, so können wir sofort durch ein Ex-

Fig. 32.



periment uns die strahlenförmige Verbreitung und die Spiegelung klar machen (s. Fig. 32).

Auf der in Zolle getheilten Leiste LL stehen die nöthigen Apparate zu einer solchen Demonstration; S ist eine Lampe, deren Flamme die verlangten Wärmestrahlen aussendet, e ist ein Schirm, in welchem eine viereckige Oeffnung befindlich, die eine gewisse Menge Strahlen durchläßt und abschneidet. In der Richtung, in welcher man durch die Oeffnung e die Flamme der Lampe S sehen kann, stellt man einen ebenen Spiegel schräg, wie m zeigt, auf; er steht auf einem Tische d, dessen kreisförmiger Rand in Grade getheilt ist, bei i steht ein Zeiger, welcher die vorbeilaufenden Theilstriche andeutet und fest zu halten gestattet.

In derjenigen Richtung, nach welcher man den Wärmestrahl Sm werfen will, steht abermals ein Schirm e' mit einer Oeffnung, durch welche der von m reflectirte Strahl hindurch muß, man nennt solche Oeffnung im

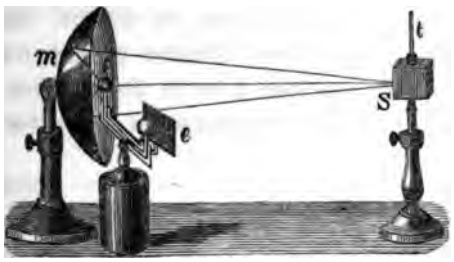
Schirm Blendung und sie dient dazu, die überflüssigen, nicht verlangten Strahlen abzuhalten. Das Tischchen, der Schirm und ein Apparat zum Messen der Wärmestrahlen, eine Thermosäule, stehen auf einer besondern Leiste Ll, um dadurch die Ablenkung unter jedem beliebigen Winkel hervor bringen zu können. Die Thermosäule ist natürlich bis zu dem Augenblicke, wo das Experiment vorbereitet ist, geschlossen.

Geht nun ein Strahl von S nach m, so kann er nach jeder beliebigen Richtung abgelenkt werden, das Lineal und das Tischchen d gestatten dies und sobald man nach vorhergegangener richtiger Anordnung die Deckel von der Thermosäule abnimmt, spricht die mit ihr verbundene Magnetnadel sofort an, welches eben den Fortgang der Wärmestrahlen auf dem vorgeschriebenen Wege zeigt.

Hohlspiegel, Brennspiegel.

Das hier Gesagte läßt sich eben so für Spiegel mit gekrümmter Fläche zeigen, bei diesen aber ist ein so zartes Instrument, wie eine Thermosäule, gar nicht einmal nöthig; ein gewöhnliches, höchstens ein Luftthermometer genügt. S ist ein Blechgefäß mit heißem Wasser, in welchem ein Thermometer t steckt, das nur die Temperatur des Wassers angiebt; m ist ein metallner Hohlspiegel, in dessen Focus (d. h. in dem Raum, in welchem sich die auffallenden Strahlen versammeln) ein Luftthermometer f steht, dessen andere Kugel e durch einen Schirm vor den direct von dem Blechwürfel (der Wärmequelle) kommenden Strahlen geschützt ist.

Fig. 33.

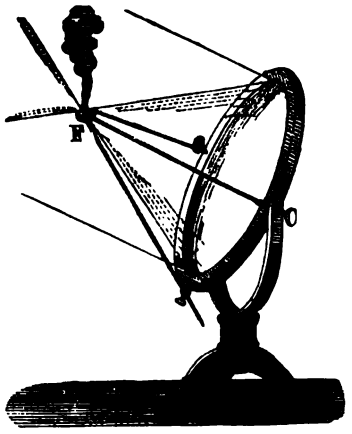


Der Apparat wird natürlich zusammengestellt, so lange in S noch kein heißes Wasser war; sobald dies nunmehr eingefüllt wird, sieht man das Thermometer f bedeutend sinken, d. h. warm werden, indem die in der Kugel f befindliche Luft durch die Wärme ausgedehnt wird und den in der Röhre befindlichen Tropfen irgend einer gefärbten Flüssigkeit vor sich hertreibt.

Es wird hierdurch bewiesen, daß die von S nach verschiedenen Richtungen ausgehenden Wärmestrahlen, so weit sie den Spiegel m treffen, von demselben nach den Gesetzen, welche für die Strahlung gegen gekrümmte Flächen bestehen, zurückgeworfen und in einem Punkt, dem Focus oder Brennpunkt, gesammelt werden.

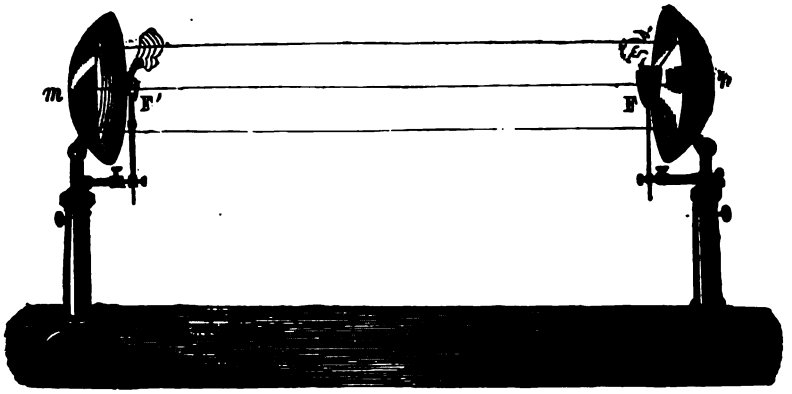
Ist die Hitze, welche reflectirt wird, bedeutend, so kann man dieselbe dergestalt concentriren, daß eine Temperatur erreicht wird, wie sonst auf keine Weise möglich. Fig. 34 zeigt einen Brennspiegel, hat derselbe einige Fuß Durchmesser, so ist die Gewalt der im Focus vereinigten Sonnenstrahlen so groß, daß darin nicht nur Gold, sondern Platin schmilzt, wie im elektrischen Strom. Die parallelen Strahlen, auf die Spiegelfläche fallend, werden convergirend zurückgeworfen und vereinigen sich in dem Focus *F* zu so mächtiger Wirkung, daß ihnen nichts Widerstand leistet. Mit einem Feuer, wie es auf der Erde erzeugt werden kann, gelingen allerdings solche Versuche nicht, allein die Wärmestrahlung auf das Vollständigste nachzuweisen, bis zum Glühendmachen des Eisens, gelingt durch künstliches Feuer.

Fig. 34.



In einer noch viel auffallenderen Weise läßt sich das Experiment machen, wenn man zwei Spiegel hat, man ist alsdann im Stande, eine sehr viel größere Quantität Wärme auf bedeutende Strecken parallel fort zusenden, wodurch ein Effect erzielt wird, der den Laien in Verwunderung setzt. Nehmen wir an, die Fig. 35 stelle zwei Hohlspiegel *m* und *n* dar,

Fig. 35.



welche in einer Entfernung von 20 und mehr Fuß von einander stehen und ihre Flächen so gegen einander kehren, daß die aus dem Punkte *F* aus-gehenden Strahlen, auf den Spiegel *n* fallend, von demselben in parallele

Strahlen verwandelt und gegen den Spiegel *m* geworfen werden. Dieser nimmt die parallel einfallenden dergestalt auf, daß er sie gegen seinen Focus *F'* zurückwirft, zu einer solchen Aufstellung giebt der Fuß und darin eingelassene Schrauben die nöthigen Mittel und hat man dies erreicht (wozu man sich eines brennenden Lichtes in *F* bedient, dessen Schein vollkommen klar in *F'* zu sehen sein muß), so stellt man nach *F* eine lebhafte Wärmequelle (etwa ein leichtes Drahtgeflecht mit ein paar glühenden Kohlen oder mit einer glühenden eisernen Kugel) und in den Brennpunkt des andern Spiegels ein auf eine Spitze gespießtes Stückchen Schwamm und sofort wird man dieses letztere erglühen sehen. Befinden sich in dem Focus *F'* ein paar Kohlenspitzen, welche eine starke Platinbatterie schließen, so ist die reflectirte Hitze in dem Focus *F'* so groß, daß ein dünnes Eisenstäbchen glühend wird.

Es geht hieraus hervor, daß die von dem Punkte *F* ausgehenden, auf den Spiegel *n* fallenden Strahlen parallel in die Weite geschickt und irgend wo aufgefangen, abermals zurückgeworfen werden können, daß sie hier von einem Hohlspiegel aufgenommen wurden, bedingt nun wieder die Möglichkeit, daß sie in einem Focus gesammelt und dort zur Gesammtwirkung gebracht werden können. Die Wärmestrahlen sind demnach zurückwerfbar wie die Lichtstrahlen.

Einfluß der Oberflächenbeschaffenheit.

Durch ähnliche Apparate ist man zu sehr merkwürdigen Resultaten gelangt, indem man gefunden, daß die Beschaffenheit der Oberfläche der Körper von sehr wesentlichem Einfluß auf die Strahlungs- und Erwärmungsfähigkeit der Körper sei und zwar halten die beiden eben genannten Fähigkeiten ganz gleichen Schritt, so daß derjenige Körper, welcher in dem Punkte *S* der Fig. 33 (S. 195) stehend, das Thermometer *f* in gleicher Zeit und bei einer gewissen Temperatur, die er hat, am stärksten erwärmt, auch wieder am leichtesten durch gegen ihn ausgesendete Wärme auf eine höhere Temperatur zu bringen ist.

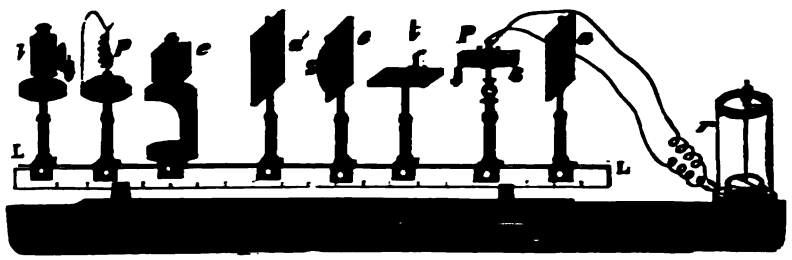
Nehmen wir an, der gedachte Würfel sei von Eisen, dieser habe auf einer seiner Seiten eine möglichst blank polirte Oberfläche erhalten, sei auf einer andern roh geblieben, wie er unter dem Hammer hervorgegangen, sei aber auf einer dritten mit Lampenruß geschwärzt worden, so wird man bei dem Experiment erfahren, daß die blanke Seite am wenigsten, die schwarze am meisten Wärme aussendet, d. h. wenn man die schwarze Fläche des Würfels gegen den Spiegel stellt, das Thermometer bedeutend höhere Wärme-

grade angiebt, als wenn man die rohe oder gar die polirte Seite gegen den Spiegel kehrt.

Eben so wird ein solcher Würfel viel schneller erhitzt, wenn er dem ausstrahlenden Körper die schwarze oder die rauhe Seite, als wenn er ihm die blanke oder die weiße Seite zukehrte.

Die Versuche sind schon im vorigen Jahrhundert durch Rumford und Leslie begonnen und auf Metalle, Zeuge und deren Farben ausgedehnt, dann aber in neuerer Zeit durch Melloni wieder aufgenommen, mit viel feineren Instrumenten auf eine höchst ingeniöse Weise weiter geführt worden und zwar nun dabei nicht bloß die zurückwerfenden, sondern auch die durchlassenden Körper berücksichtigt worden. Mit dem großen Instrument, welches wir S. 56 beschrieben und dessen Abbildung wir hier wieder folgen lassen, wurden unzählige Körper auf ihr Strahlungs-, Absorbtions- und Rückwerfungsvermögen geprüft und eben so festgestellt, wie sich die Fähigkeit verschiedener Körper, Wärme durchzulassen, verhalte.

Fig. 36.



Permeabilität.

Man hatte einen Unterschied zwischen leuchtender und dunkler Wärme gemacht und hatte gesagt, für die leuchtende Wärme seien alle durchsichtigen Körper, Glas, Wasser, Krystall, so wie für das Licht durchgänglich (permeabel); man hätte schon durch den Ersten, der einen in weiten Kreisen bekannt gewordenen Versuch darüber anstellte, durch Scheele darauf kommen können, daß dem nicht so sei. Derselbe hielt nämlich eine Glastafel zwischen sich und das Feuer eines Schmelzofens, welches ihn sehr belästigte, und fand, daß dadurch fast alle Wärme abgeschnitten wurde und er nicht früher wieder eine Strahlung empfand, als bis die Glastafel selbst durchwärmt war. Hier war nun ein leuchtend warmer Körper und doch schnitt das durchsichtige Glas die Strahlung ab, dagegen [illegible] allerdings die Sonnenwärme durch Glas hindurch gelassen, wäre dies [illegible] so hätten wir keine Brenngläser.

Skoresby hat auf die unvortheilhafteste Art ein Brennglas aus Eis gebildet, indem er Wasser in einer Schüssel zum Gefrieren brachte. Hier war von einer auch nur annäherungsweise richtigen Form gar keine Rede und doch zündeten sich fast sämmtliche Matrosen des Schiffes an seinem improvisirten Brennglase die Pfeifen an, bevor es in seinen Urzustand zurückging. Würde man dagegen Wasser in einer hohlen Schale gefrieren lassen, in welcher der Mechanikus seine Gläser von kurzen Brennweiten schleift, so würde man ein möglichst vollkommenes Brennglas erhalten und mittelst eines solchen würde sich noch viel deutlicher gezeigt haben, als es durch Skoresby's unvollkommene Versuche geschehen konnte, daß die leuchtende Wärme durch Glas, durch Wasser und Eis geht. Allein wie viel davon, in welchem Grade, dies wurde allerdings früher nicht ermittelt und wir danken es den emsigen Forschungen eines Melloni, daß wir es endlich wissen.

Die Fähigkeit, Wärmestrahlen durchzulassen, ist so verschieden, daß es Stoffe giebt, welche die Wärme beinahe ganz und ungeschwächt durch sich hindurchstreichen lassen (wie das reine, weiße Steinsalz, welches von 100 Strahlen 93 durchläßt, wobei noch wahrscheinlich ist, daß die fehlenden 7 nicht absorbirt, sondern von den beiden Flächen, der äußeren und der inneren zurückgeworfen werden, eine Meinung, die sich darauf stützt, daß es ziemlich gleichgültig ist, wie dick das durchlassende Stück Steinsalz ist, was sonst bei andern Körpern keineswegs gleich ist) und wieder andere, welche die Wärme beinahe ganz absorbiren, wie Glas mit Wasser verbunden.

Von leuchtender Wärme, also von einer Lichtflamme läßt das Steinsalz $^{92}/_{100}$ hindurchgehen, der isländische Kalkspath nur 39, der Rauchtopas (d. h. fälschlich Topas genannter, bräunlicher Bergkrystall) 37 und Alaun nur 9. Die hier angegebene Procentzahl gilt jedoch nicht, wenn die Flamme, von welcher die Strahlen ausgehen, mit Glas bedeckt ist, wie z. B. bei der Argand'schen Lampe. Die leuchtende Wärme derselben hat zuerst durch den Glascylinder gehen müssen, welcher die Flamme umgiebt. Diese leuchtende Wärme hat dadurch andere Eigenschaften als die einer gewöhnlichen Lichtflamme, sie geht leichter und in größerer Menge durch die durchsichtigen Körper. Das Steinsalz läßt auch von solcher leuchtenden Wärme nicht mehr durch als 93 pCt., der Kalkspath jedoch gestattet 62 pCt. den Durchgang, der Bergkrystall 57, der Alaun 14 pCt. Noch auffallendere Unterschiede geben Wärmestrahlen, welche nicht leuchten. Ein Stück Kupfer von 400 Grad C. giebt eine sehr bemerkbare Wärme strahlend von sich. Hiervon läßt der Kalkspath nur noch 6 pCt. durch, Alaun nichts mehr, hat dagegen das Stück Kupfer nur 100 Grad, so läßt der Kalkspath auch nichts mehr durch. Merkwürdig ist, daß hin-

sichtlich des Steinsalzes ein solcher Unterschied nicht stattfindet, dasselbe läßt von der nicht leuchtenden Wärme so viel durch als von der leuchtenden. Um sich gänzlich vor den Wärmestrahlen zu schützen und doch die Lichtstrahlen nicht mit zurückzuhalten, bedient man sich einer Verbindung von zwei parallelen Glastafeln mit dazwischen gefülltem Wasser.

Die vorstehende Fig. 36 zeigt, auf welche Weise die Versuche angestellt werden. Auf eines der Tischchen *l*, *p* oder *c* kommt die Wärmequelle, deren Strahlung man untersuchen will, natürlich muß dabei die Entfernung von *l* nach *P* stets dieselbe sein, ferner müssen die Orte, an welchen die Blendungen angebracht werden, auch immer dieselben sein, eben so hat *t* seine genau bestimmte Entfernung von *l* sowohl als von *P*, d. h. derjenige Körper, dessen Fähigkeit Strahlen durchzulassen geprüft werden soll, ist unter allen Umständen gleich weit von der Wärmequelle und dem thermoelektrischen Apparat entfernt, welcher zeigen soll, wie viel Wärme durchgelassen wird.

Die Wärmequellen sind hierbei sehr verschieden; Melloni wandte eine Argand'sche Lampe mit Glascylinder, eine kleine Lampe ohne Glascylinder, eine aphlogistische Lampe (eine solche, in welcher eine Platinspirale im Spiritusdampfe glüht, ohne daß der Weingeist brennt) und eine Kupferkugel, welche er auf sehr verschiedene Grade, jedoch niemals bis zum Glühen erwärmte, an. Der Ausschlag, welchen die Magnetnadel in dem Galvanometer *r* gab, zeigte die Größe der von *P*, dem Thermomultiplicator empfangenen Wirkung an.

Diese Untersuchungen haben zu sehr allgemeinen Resultaten geführt. Der leere Raum ist vollkommen durchlassend für die Wärmestrahlen (diathermman), die sämmtlichen farblosen Gase sind es in so hohem Grade, daß man keinen Unterschied unter ihnen bemerkt, völlig undurchlassend für die Wärme (athermman) sind die ganz undurchsichtigen Körper, z. B. die Metalle; es scheint doch also die Diathermanität mit der Durchsichtigkeit in einem gewissen Verhältniß zu stehen.

Druck von A. Bahn & Comp. in Berlin, Schleuse 4.

Vollmer, Karl Gottfried Wilhelm d. 1864

Akustik

oder die

Lehre vom Schall.

In

populärer Darstellung

von

Dr. W. F. A. Zimmermann.

Mit 78 Abbildungen.

Berlin, 1856.

Verlag von Gustav Hempel.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.
1901

Inhalt.

Seite

Transverſalſchwingungen elaſtiſcher Körper 3
Verſchiedene Arten derſelben. Schwingungsknoten. Kaleidophon 4. Gleiche Dauer der Schwingungen 5.

Klang vibrirender Körper 5
Einwirkung der Schwingungen auf das Trommelfell 6. Unvernehmbare Töne 7.

Die Luftwellen 9
Unterſchied derſelben von den Waſſerwellen 10. Gleichzeitiges Hören verſchiedener Töne 12. Harmonie — Disharmonie 12. Die Speichenſirene 14. Die Radſirene 15. Die Lochſirene 16. Dove's Sirene 19. Die Disharmonika 20. Die Orgelpfeife 20. Art der Vibrationen darin 21. Sichtbarmachen der Luftvibrationen 22. Einwirkung der Form der Pfeifen auf den Ton 23.

Veranſchaulichung der Transverſalſchwingungen 24
Klingende Glocken 24. Das Monochord 26.

Schwingungsknoten tönender Luftſäulen 28

Klangfiguren 31
Chladni's Erfindung 32. Verſchiedene Formen 37. Secundäre Klangfiguren 42. Erklärung 45. Wahrnehmbarmachung der Interferenz für das Ohr 46. Für das Auge 48. Interferenz bei der Stimmgabel 52. Oerſted's Klangfiguren 56. Savart's Staubfiguren 58. Secundäre Vibrationen 59.

Longitudinalſchwingungen der Luft 62
Falſche Theorie 64. Muſikaliſche Blaſeinſtrumente 66.

Longitudinalſchwingungen feſter Körper 69
Experimente 69. Geſetze 70. Marloye's Staborgel 71. Klangfiguren auf Saiten 73. Torſionsſchwingungen 74.

Der Schall 74
Verbreitung 76. Schallwellen 77. Stärke des Schalles 80. Einfluß der Beſchaffenheit der Luft 81. Stärke des Ohres 82.

Seite

Reflex des Schalles 90
Das Echo 96.
Das Sprachrohr und das Hörrohr 101
Fortpflanzung des Schalles 104
Brechung 106. Leitung in geschlossenen Räumen 108. Adhäsion 110. Leitung im Wasser 112. In festen Körpern 114. Zählung der Schwingungen 117. Der Tartinische Ton 119. Beispiele der Schallleitung 120. Ellicot's Uhren 124. Bregnet's sympathetische Uhren 126. Experimente im luftleeren Raum 128.
Resonanz anderer Körper 130
Der Ton 133
Verschiedenheit der Töne 133. Verschiedenheit der Organe 134. Savart's Versuche 136.
Tongesetze 139
Schwingungsgesetze 140. Beweise derselben 141. Messung der Intervalle am Monochord 143.
Die Scalen 147
Chromatische 147. Natürliche 147. Enharmonische 150.
Temperatur und Schwebung 151
Reine (chinesische) Temperatur 152. Kirnberger's Temperatur 154.
Musik der Alten 156
Anzahl der Battements 157
Stimmung verschiedener Orchester 159. Grenzen hörbarer Töne 160.
Das Hörorgan 162

Der Schall.

Schwingungen.

Alle elastischen Körper, aus ihrer Ruhelage gebracht, können Schwingungen machen, welche in gewisser Art mit den Pendelschwingungen zu vergleichen sind; werden dieselben mehr als gewöhnlich schnell, hören sie auf, sichtbar und zählbar zu sein, so nennt man diese Schwingungen Vibrationen, ein Ausdruck, der durch das deutsche „Erzittern" nur unvollkommen wiedergegeben wird.

Jeder elastische Körper kann in solche Schwingungen versetzt werden; die ruhenden Theilchen werden in ihrem Zusammenhange aus der Ruhelage entfernt und dann sich selbst überlassen. Hierdurch wird ihnen die Freiheit gegeben, in ihre vorigen, in die normalen Ruhelagen zurückzukehren; vermöge derjenigen Thätigkeit, welche wir das Beharrungsvermögen nennen (Kraft der Trägheit), beharren die Theilchen, welche einmal in Bewegung sind, auch noch ferner in dieser Bewegung, sie gehen darüber hinaus beinahe so weit als sie vorher aus ihrer Ruhelage abgelenkt worden waren, dann erst kehren sie wieder zur Ruhelage zurück, gehen aber nun wieder beinahe so weit darüber hinaus, als sie abgelenkt worden waren, und so dauert das Spiel eine Zeit lang fort, bis, nachdem die Schwingungen mit jeder neuen um etwas geringer geworden als bei der vorigen, sie endlich aufhören, dadurch jedenfalls, daß sie in der Luft, in dem Widerstande des Körpers selbst Hindernisse gefunden haben, welche das Perpetuum mobile, das jeder in Schwingung gesetzte Körper eigentlich sein müßte, zur Ruhe bringen.

Je nach der Form, der äußeren Gestalt eines Körpers, können die Schwingungen verschiedener Art sein. Ein Glocke von Glas, von Metall, über deren Rand man mit einem Violinbogen streicht, giebt Transversalschwingungen, eben so eine Glas- oder Metalltafel, eine straff gespannte Haut, das Fell der Pauke, der Trommel.

Ein Metallſtab, ein Holzſtab, kann gleichfalls Querſchwingungen machen, wenn man die geſpannten Saiten aus ihrer geraden Linie herauszieht und

Fig. 1.

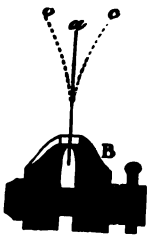
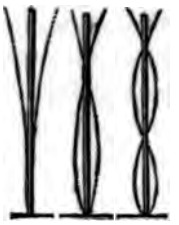


Fig. 2.

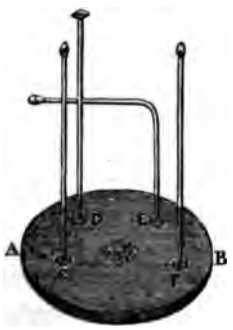
Fig. 3.



dann losläßt, wenn man einen geraden Stab, ein Lineal an einem Ende feſt einklemmt, anſpannt, und dann plötzlich losläßt, ſo entſtehen daraus gleichfalls Transverſalſchwingungen; bei einer Saite ſehen ſie aus, wie die Fig. 2 andeutet, bei einem Stäbchen ſehen ſie aus, als hätte man die Fig. 1 in der Mitte getheilt. Der Stab ab (Fig. 1) wird nach bc durch den Druck der Hand abgelenkt, ſo wie er losgelaſſen wird, ſchwingt er hin und her, immer bald rechts, bald links von ab die Stellung cb einnehmend, bis die Schwingungen aufhören und er wieder ruhig ſteht. Von der Art der Bewegung, die man urſprünglich dem Stabe ertheilte, hängt es ab, wie die Schwingungen ausfallen ſollen und ob Schwingungsknoten entſtehen. Die erſte Zeichnung der Fig. 3 hat außer ihrem Befeſtigungspunkte keinen ſolchen, die zweite hat einen, die dritte hat deren zwei.

Sehr ſchön laſſen ſich dieſe Schwingungen von dünnen Stäben, welche an einem Ende befeſtigt ſind, durch ein Inſtrument zeigen, welches Kaleidophon heißt. Auf einem Brette AB ſind Stahldrähte $CDEF$ befeſtigt,

Fig. 4.



auf deren oberen Enden runde oder eckige, aber gut polirte Knöpfchen befeſtigt ſind. Sobald man mittelſt eines Violinbogens oder auf eine ſonſtige angemeſſene Weiſe die Stäbchen in Schwingung (wo möglich in tönende Schwingung) verſetzt, bilden die Knöpfchen elliptiſche oder kreisförmige Figuren, welche ſich fortwährend in ihrer Richtung und Stellung gegen einander verändern. Das Experiment iſt ſehr leicht zu machen: ein paar Stricknadeln mit auf den Spitzen befeſtigten Glasperlen ſind genügend, und der Anblick der ſchwingenden Perlen ſehr anmuthig.

Sollten wir die Schwingungen einer Tafel darſtellen, ſo würden wir

sie in der Mitte festgehalten zu denken haben und dann würden dieselben, von der Seite gesehen, sich zeigen, als ob ein Stab (Fig. 1) nicht an einem Ende, sondern als ob er in der Mitte festgehalten würde.

Wie die Pendelschwingungen gleichzeitig sind (d. h. ein Pendel macht alle Schwingungen in derselben Zeit, ein anderer Pendel hat natürlich wieder eine andere Zeitdauer), so sind auch die Vibrationen eines jeden schwingenden Körpers gleichzeitig, ihre Ausdehnung ist im Augenblick der Erregung am stärksten und wird mit jeder neuen Schwingung geringer, die Zeit, in welcher die weiteste Schwingung zurückgelegt wird, ist jedoch nicht im mindesten länger als diejenige, in welcher die Schwingung von geringster Erstreckung geschieht.

Schwingungsgesetze.

Wenn man eine schmale Leiste von Tannenholz von 10—12 Fuß Länge an einem Ende festklemmt, am andern Ende weit zurückbiegt und sie dann losläßt, so wird sie in Schwingungen gerathen, sie wird vielleicht vier bis sechs derselben in einer Secunde machen. Wenn man ein Seil von 20 Fuß Länge horizontal ausspannt, daß es eine ziemlich gerade Linie bildet, — d. h. in der Mitte nicht mehr als ein paar Zoll tiefer hängt als an den beiden Befestigungspunkten, — es in der Mitte zu sich zieht und darauf losläßt, so wird auch dieses Seil wie der Stab Schwingungen machen, die man sehr deutlich sehen kann, je nach der Stärke der Spannung des Seiles werden der Schwingungen mehrere sein.

Verkürzt man den schwingenden Stab auf die Hälfte, so wird der Stab doppelt so viele Schwingungen machen, dasselbe gilt für das gespannte Seil. Es wird nun bei fortgesetzter Verkürzung ein Zeitpunkt eintreten, bei welchem man die Schwingungen nicht mehr zählen kann. Sobald dieser Zeitpunkt eingetreten, wird man einen tiefen, schnurrenden Ton hören.

Sichtbarkeit der Schwingungen schließt den Ton aus, ein hörbarer Ton setzt Schwingungen voraus, welche nicht mehr gesehen werden können. Bei einem sehr tiefen Ton erscheint der schwingende Stab oder das Seil wenigstens noch bemerkbar vibrirend; je höher die Töne werden, desto schneller schwingen beide und alsdann sieht man nichts mehr von der Schwingung.

Wir sehen hier einen genauen Zusammenhang zwischen Vibration und Klang. Unser feinster Sinn, das Auge, ist nicht im Stande, eine vorhandene Wirkung (die durch künstliche Mittel allerdings sichtbar werden kann)

wahrzunehmen; unser Ohr giebt Kunde von dieser Wirkung, das ist der Ton, das ist die Musik, die wir hören, sie besteht aus Schwingungen, aus Vibrationen verschiedener elastischer Substanzen, und zwar von Körpern, welche von Natur elastisch sind wie Stahlstäbe (Stimmgabeln), Glasglocken oder von solchen, die durch Spannung elastisch werden wie Saiten, ausgestreckte Häute (Trommel, Pauke), oder von Luftsäulen, deren Elasticität durch den Druck ihrer eigenen Masse hervorgebracht wird. (Die Luft nämlich ist in sehr vielen Fällen, bei allen Blasinstrumenten von der Orgel bis zum Clarinett, von der Posaune bis zur Picoloflöte, selbst der tönende Körper.)

Verhalten der Schwingungen zum Ohr.

Die Vibrationen aber aller tönenden Körper können nur insofern gehört werden, als dieselben durch irgend ein Mittel, welches sie fortpflanzt, bis zu unserm Ohr gelangen. Dort im Hintergrunde des Ganges, den die Ohrenmuschel umgiebt, befindet sich vor eine Höhle in einem sehr festen Knochen des Kopfes, vor die Paukenhöhle gespannt, ein feines Häutchen, welches man das Trommelfell nennt; die durch die Luft fortgepflanzten Vibrationen in Luftwellen verwandelt, treffen auf das Trommelfell und biegen es einwärts und indem dadurch die Luft im Innern der Paukenhöhle verdichtet wird, entsteht ein Bestreben, die Biegung auszugleichen, welches Bestreben dadurch begünstigt wird, daß in demselben Augenblick die Luftwelle, welche an das Ohr geschlagen hat, wieder zurückkehrt, worauf abermals eine solche Luftwelle gegen das Ohr bringt, das Trommelfell einwärts biegt und hierauf wieder zurückkehrt, und so fort viele Male in einer Secunde.

Beträgt die Zahl der Einbiegungen 16 und die Zahl der Ausdehnungen gleichfalls 16 in einer Secunde, wird das Trommelfell des Ohres 32 Mal hin und her gebogen, so entsteht das Bewußtsein des tiefsten Orgeltons, des tiefsten C; verdoppelt sich die Zahl der Schwingungen, so hört man die Octave von diesem C; macht das Trommelfell 128 solcher Schwingungen, so hört man abermals die Octave und so geht es fort durch neunmalige Verdoppelungen bis zu dem C, welches fünf Octaven über dem mittleren C eines Flügels liegt, wobei 16,320 Schwingungen in einer Secunde dem Ohre zugemuthet werden, ein solches Ohr umfaßt also neun volle Octaven; die meisten Menschen hören noch schnellere Schwingungen, man hört noch das d, e, f, nun aber steht man an einer Grenze, bei welcher der Eine sagt, ich höre noch, der Andere, ich höre nichts mehr, bei welcher der Eine sich über die fast schmerzhafte, kreischende Höhe der Töne beklagt, der Andere durchaus nichts davon wahrnimmt, und obschon es Personen

giebt, welche nach der zehnten Octave, bei welcher 32,760 Schwingungen in der Secunde gemacht werden, bei welcher also das Trommelfell 16,380 Mal einwärts und 16,380 Mal auswärts gebogen werden muß, ganz deutlich hören, so giebt es doch auch wieder andere, welche das Zirpen der Grille niemals gehört haben, welche daher gar nicht wissen, wovon die Rede ist, wenn man dieses Tones erwähnt, und daß hier keine Täuschung walte, geht aus einer durchaus entscheidenden Thatsache hervor.

Die Grillen haben verschiedene Töne; auf einem Stoppelfelde gehend hört man sehr oft zwei ein Duett singen, es scheint als ob sie sich anrufen und einander antworten. Der Verfasser hat Personen gekannt, welche den einen dieser Töne wohl hörten, den anderen aber, der eine Quart oder Terze höher war, durchaus nicht vernahmen. Bei diesen fand also keine Unbekanntschaft mit diesem Tone statt, nur war einer derselben für ihr träges Trommelfell zu hoch, dasselbe sprach nicht mehr an, wenn dieser Ton angeschlagen wurde.

Es sind nicht diese Töne allein, wie das Zirpen des Heimchens, das Schrillen der Heuschrecken oder das Schwirren der herumfliegenden Heuschrecken, welche von manchen Menschen nicht vernommen werden, es sind sogar durch musikalische Instrumente hervorzubringende Töne, welche sich dem Ohre einiger Personen entziehen; diejenigen, welche durch sehr scharfes Anblasen der ganz kleinen Querflöte oder auch dadurch entstehen, daß man auf einer Violine die höchsten Töne angiebt, welche ein geschickter Violinvirtuose ihr noch entlocken kann, werden auch nicht gehört von Leuten, deren Trommelfell nicht elastisch genug ist.

Ob Aehnliches an dem entgegengesetzten Ende der Scala auch vorkommt, ob es auch Töne giebt, welche zu tief für das Ohr des Menschen sind, weiß man nicht, allein daß es bei Thieren so sei, unterliegt keinem Zweifel; wir dürfen nur an den Hund denken, welcher bei den Tönen eines Basses, den tieferen eines Violoncells, ganz ruhig bleibt, dessen völlig gleichgültiges Gesicht deutlich dafür spricht, daß diese Töne keinen Eindruck auf ihn machen, sobald man jedoch die Geige streicht, wird er unruhig und wenn man in eine gewisse Höhe der Töne kommt, zeigt er durch sein Accompagnement, daß er keineswegs unempfindlich gegen musikalische Genüsse sei.

Durch künstliche Spannung des Trommelfells kann sich auch der Mensch unempfindlich gegen tiefe Töne machen, nur von Natur scheint er es nicht zu sein; den Ton einer 32füßigen Orgelpfeife hört wohl ein Jeder, ja sogar den noch um eine Octave tieferen, der mittelst der Speichensirene durch 16 Schläge hervorgebracht wird, allein wenn man Mund und Nase

zuhält und nun die Brustmuskeln so wirken läßt, als wollte man ausathmen, so wird die Luft in der Paukenhöhle des Ohrs verdichtet, das Trommelfell wird nach außen gespannt und man hört nun recht tiefe Töne nicht mehr, man ist taub für dieselben geworden, ja sogar brummendes Geräusch, wie das Rollen eines Wagens über eine hölzerne Brücke, hört man nicht mehr, dagegen das Klirren des Eisens an demselben noch ganz deutlich vernommen wird.

Vergleichende Versuche.

Dove macht in seiner geistreichen Schrift „Ueber Wirkungen aus der Ferne" die Bemerkung: Wenn wir aus den hohen Tönen, welche Insecten bei ihrem Flügelschlag durch die Bewegung ihrer Brustmuskeln erregen, schließen, daß sie mehrere tausendmal in der Secunde ihre Muskeln zu strecken vermögen, während der stärkste englische Wettrenner dies nur fünfmal in derselben Zeit vermag, so liegt die Vermuthung nicht fern, daß Thiere, welche so hohe Töne hervorzubringen vermögen, noch viel höhere vernehmen und daß die Sphäre des Klanges für sie vielleicht da beginnt, wo sie für uns aufhört, daß sie da laut mit einander sprechen, wo für uns vollkommene Stille herrscht.

Es giebt kleine Thiere, welche das 80fache ihrer Höhe springen, den Satz, welchen ein Floh macht, müsse man nicht nach dem Fuße des Menschen, sondern nach dem Fuß des Flohes messen, sagte schon Demokritos, er wurde zwar von seinen Landsleuten, den Abderiten, deswegen sehr ausgelacht, allein er hat doch Recht. Wenn man die Leistungen verschiedener Geschöpfe mit einander vergleichen will, so muß man nicht an alle denselben, sondern an jeden seinen eigenen Maßstab anlegen. Der Mensch kann nicht solche Sätze machen wie die Feldheuschrecken oder die Flöhe; unter den Turnern gilt schon derjenige für einen Heros, der einmal so hoch springt als er selbst, und in der alten Hofburg zu München sind um ein Geringes höher als Menschengröße eiserne Marken eingemauert, welche die Gewalt zweier bairischer Herzöge im Springen verewigen — was ist das aber im Vergleich mit einem Flohsprunge; um es diesem Thiere gleich zu thun, müßte ein menschlicher Springer über den Straßburger Münster hinwegsetzen können.

Bei solchen Verschiedenheiten würde es mehr als gewagt sein, die für uns gültigen Verhältnisse auf Thiere zu übertragen und einfach anzunehmen, was wir nicht können, vermögen sie auch nicht; sieht doch der Condor aus 30,000 Fuß Entfernung ein gefallenes Lama auf den Haiden von Süd-

amerika, welcher Mensch vermöchte dies? Findet doch der Hund die Spur des verlorenen Kindes oder des noch nicht angeschossenen Rehes durch dasjenige wieder, was eins oder das andere bei seinem Laufe auf dem Felsboden hat liegen lassen, welcher Mensch — und wäre es ein Häuptling der Sioux oder der Blakfoot-Indianer — vermöchte dies?

So müssen wir uns denn zufrieden geben mit dem, was wir über die Töne bei dem Menschen beobachten, ohne sagen zu können, hier oder dort ist die Grenze des Hörbaren.

Wasserwellen.

Wellen, durch einen tönenden Körper in der Luft erregt, sind zum Hören unerläßlich, allerdings leiten auch feste Körper und flüssige (das Wasser) den Schall und zwar kräftiger als die Luft, dennoch ist die Luft es schließlich, welche den Schall an das Ohr trägt und die Luft in der Paukenhöhle des Ohres ist es, welche vibriren muß, um den Gedanken des Hörens zu erwecken.

Von dieser Wellenbewegung ein Bild, ein den Sinnen faßliches, deutliches und richtiges Bild zu geben durch die Schrift, ist sehr schwer; bei einem mündlichen Vortrage unterstützt das Zeigen und Deuten, unterstützt die Bewegung der Hand in der Demonstration; dies fehlt dem Buche, und da alle Vergleiche hinken, man aber gern den Vergleich über die Grenze, bis zu welcher er richtig ist, hinaus treibt, kommt man leicht in den Fall, etwas ganz Anderes zu lesen als beabsichtigt wird.

Der Verfasser bittet seine Leser, namentlich in den nächsten Zeilen dieses festzuhalten und den Vergleich nicht weiter zu treiben als ausdrücklich angegeben wird.

Wenn man einen Stein auf eine ruhende Wasserfläche wirft, so entsteht zuerst eine Vertiefung, dann eine größere Erhöhung. Diese dehnt sich aus, hinter ihr aber entsteht wieder eine Vertiefung, welche der kreisförmigen Welle nachläuft, hinter dieser (d. h. stets im Innern des Kreises) entsteht abermals eine Erhöhung, eine Vertiefung, wieder eine Erhöhung u. s. f., indeß die erste kreisförmige Welle sich stets weiter und weiter ausdehnt. Was vieler Worte bedarf, um beschrieben zu werden, kann ein Jeder viel schöner sehen als man es beschreiben kann, wenn er ein Steinchen in das nächste ruhende oder langsam fließende Wasser wirft.

Denke man sich nun, nachdem man sich das Bild der kreisförmigen stets wachsenden Wellen deutlich gemacht hat, an Stelle des Wassers Luft,

an Stelle des Steines aber einen klingenden Körper, so hat man nahezu den Vorgang der Fortleitung des Schalles durch die Luft sich versinnlicht.

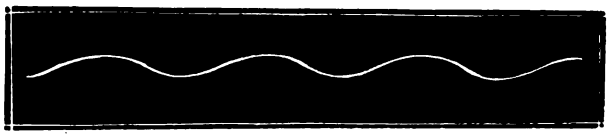
Nun kommen aber die Unterschiede, welche der Verfasser sich recht gegenwärtig zu machen bittet.

Auf der Wasserfläche verbreitet sich die Welle kreisförmig in einer Ebene, in der Luft verbreitet sich die Schallwelle kugelförmig, nicht nach zwei, sondern nach drei Dimensionen, man hört also den klingenden Körper hinauf so gut tönen, wie hinab und wie nach allen anderen Richtungen.

Luftwellen. Schallwellen.

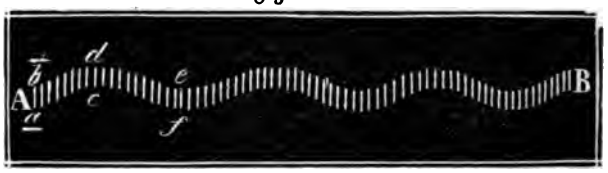
Die Wellen des Wassers laufen von dem Erregungspunkte in immer größer werdenden Kreisen auswärts, dabei schreitet aber das Wasser nicht mit, dies bleibt auf seiner Stelle, wie man durch einen auf die Wasserfläche geworfenen Spahn sehen kann, der nicht mit den Wellen läuft, sondern unter welchem das Wasser sich hebt und senkt, indeß er ruhig auf seinem Flecke liegen bleibt; hier ist eine große Aehnlichkeit mit der Verbreitung der Schallwellen, denn ein leichtes Flöckchen einer Flaumenfeder würde auch durch die Schallwelle nicht fortgeführt werden, allein die Art der Wellen ist eine vollständig andere im Wasser und in der Luft. Indeß der Durchschnitt einer Wasserwelle wie eine geschlängelte Linie aussieht, in welcher

Fig. 5.



alle Theilchen auf und ab steigen, so daß die Welle aus lauter sich hebenden und auf derselben Stelle wieder senkenden Theilen besteht (nicht so,

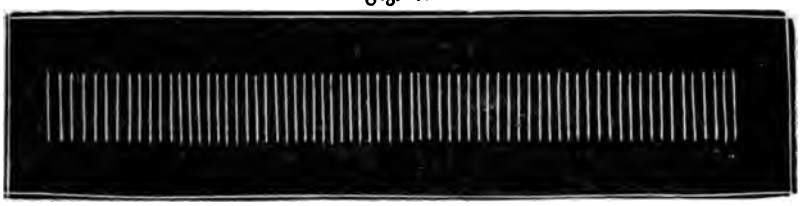
Fig. 6.



daß *ab* höher steigt bis *cd* und dann wieder sinkt bis *ef*, sondern *ab* sich erhebt bis zu dem Querstrich über *b* und dann wieder sinkt bis zu dem Querstrich unter *a*), gehen die Luftwellen in einer geraden Linie (nicht geschlängelt) fort und wellenförmig sind sie nur nach dem Sinne der gerad-

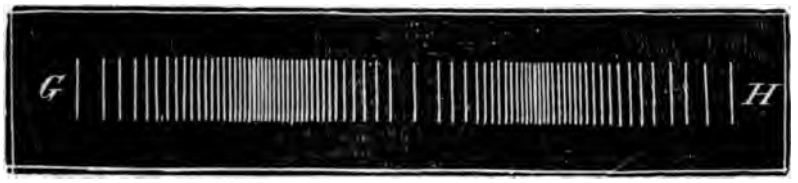
linigen Erstreckung durch Verdichtung ihrer Massen, so daß der Durchschnitt einer Luftwelle aussehen würde wie Fig. 7, welche die Lufttheilchen in

Fig. 7.



ruhendem Zustande andeutet, Fig. 8 aber die Verdichtung und Verdünnung, d. h. die Wellen angiebt. In beiden Zeichnungen sind gleich viel

Fig. 8.



Lufttheilchen, in der oberen stehen sie alle gleich weit von einander, in der unteren rücken sie an einzelnen Stellen zusammen, an anderen aus einander. Ein Lufttheilchen drückt auf das andere und stößt es fort, so wie es aber seinen Impuls abgegeben hat, kehrt es zurück zu seinem früheren Standpunkte, bis es wieder gestoßen wird, selbst wieder stößt und alsdann abermals zurückkehrt. Der Weg, den die Wellentheilchen des Wassers haben, steht quer auf die Richtung der Verbreitungslinie, die Welle des Wassers läuft von *A* nach *B* (Fig. 6), die Wassertheilchen aber gehen von *a* nach *b* auf und ab. Die Luftwelle (Fig. 8) geht von *G* nach *H*, die Lufttheilchen gehen auf demselben Wege in derselben Richtung hin und her.

Dies ist der höchst wichtige Unterschied zwischen Wasser- und Luftwellen. Das Wasser hat die Fortbewegung der Luftwellen mit Querschwingungen, die Wasserwellen lassen sich daher polarisiren, der Polarisations-Apparat ist ein Sieb, durch welches die in der Richtung der Löcher auffallenden Wasserstiftchen durchgehen, indeß die quer auffallenden auf der Siebfläche liegen bleiben; der Schall kann nicht polarisirt werden, weil alle Theilchen in gleicher Richtung auf die Siebfläche des Polarisations-Apparates auffallen, also keine Scheidung stattfindet.

Wenn wir diesen wichtigen Unterschied festhalten, so passen alle übrigen Vergleichungsmomente vollkommen.

[illegible]

[illegible] Saiten[illegible] [illegible] [illegible] seine [illegible] aber über [illegible] [illegible] sich [illegible] Wellenkreise mit [illegible] zu [illegible].

[illegible] zusammen. [illegible] dem Grund, [illegible].

[illegible] Wellen [illegible] das Bewußt[illegible] angeschlagen [illegible] verschiedener Art, [illegible] Schwingungen und [illegible] Ton [illegible] das [illegible] ihm [illegible] dem [illegible] wenn aber sechs [illegible] sämmtlichen Schwingungen [illegible], welche den Tönen entsprechen, dann wird das Trommelfell [illegible] die Wasserfläche, auf welche man schwere, Wasser umher[illegible] Steine geworfen hat, zu den großen, weit ausschreitenden Wellen des [illegible] und seiner Octave im Basse kommen die vielen kleinen Wellen der einzelnen Tropfen, d. h. der höheren Töne, welche Hauptton, Terz, [illegible] und [illegible] des Hauptons darstellen. Würde man ein Mittel haben, das schwingende Trommelfell in solchem Augenblick, wo es den [illegible] empfängt, durch ein Mikroskop zu beobachten, so würde man alle diese Wellen sich auf seiner Fläche schneiden und durchkreuzen sehen; leider können wir dies nicht, wir müssen uns mit dem Erfolge begnügen, allein dieser ist vollkommen beweiskräftig.

Zahl der Schwingungen.

In der großen Oper dirigirt der Musikdirektor. Sein Auge folgt in der Partitur dem Gange der ganzen Tondichtung: es liegen die verschiedenen Instrumente mit ihren einzelnen Leistungen unter einander, er über-

blickt dieſelben mit ſicherm Auge, er giebt mit ſeinem Stabe den Takt an, da blitzt dieſes Auge plötzlich im Zorn auf — er ſieht ſich nach dem Cello um, es hat einen falſchen Ton angegeben — ſtatt 1600 Schwingungen hat es 1620 Schwingungen gemacht in der Secunde, ſein Ohr, welches alle die anderen Schwingungen gezählt hat, hat auch dieſe gezählt und um 20 zu viel, d. h. den Ton zu hoch gefunden.

Dies giebt Dove Veranlaſſung zu ſagen: Wenn man einem Virtuoſen verſichert, daß der Zauber der Muſik zuletzt auf längeren oder kürzeren Wellen in einem gewiſſen Verhältniß des Beiſammenſeins und der Aufeinanderfolge beruhe, ſo wird ein ungläubiges Lächeln ſeine Antwort ſein. Der Behauptung, daß das Wohlgefallen am Einklang in der Befriedigung beſtehe, welche uns diejenigen Intervalle gewähren, deren Schwingungsverhältniß ſich durch kleine Zahlen ausdrücken läßt, wird er entgegnen: „Kannſt du denn glauben, daß die Seele im Geheimen und dir unbewußt die Schwingungen überzähle und an der wahrgenommenen Einfachheit der Verhältniſſe einen Wohlgefallen finde?“

Beantworte ich dieſe Frage mit Ja, ſo habe ich's, ſelbſt wenn ich mich auf die Autorität eines Leibnitz berufe, welcher die Muſik für eine arithmetiſche Uebung erklärt, für immer mit ihm verdorben, denn was ſoll er von mir für eine Vorſtellung gewinnen, wenn ich ihm eingeſtehe, daß die Begeiſterung, zu der er mich hinreißt, nichts als der Dank dafür iſt, daß das von ihm mir aufgegebene Rechenexempel ſich zuletzt in eine einfache Aufgabe löſt.

Dies klingt ungeheuer proſaiſch und iſt doch vollkommen wahr, denn ein jeder Dreiklang läßt ſich auf einfache Zahlenverhältniſſe zurückführen und nur dadurch, daß dies möglich iſt, wird er zu dem, dem Ohre ſchmeichelhaften harmoniſchen Accord. 100 Schwingungen geben einen gewiſſen Ton, 200 die höhere Octave davon, 150 die Quinte des Grundtons, 125 die Terz deſſelben. Die Zahlen 100 und 200 verhalten ſich wie 1 zu 2, man kann kein einfacheres Zahlenverhältniß finden, wenn man nicht 1 zu 1 auch ein Verhältniß nennen will. 1 zu 2 iſt aber das Verhältniß des Grundtons zur Octave; 100 zu 150, auf die einfachſten Zahlen zurückgeführt 2 zu 3, iſt die Quinte; das Verhältniß von 100 : 125 (d. h. 4 mal 25 zu 5 mal 25) oder von 4 zu 5 iſt das der Terz.

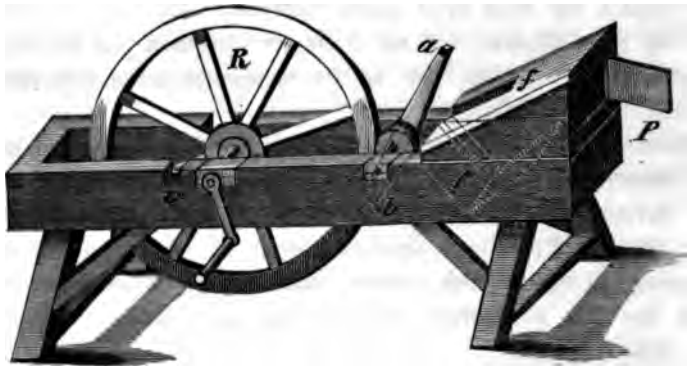
Iſt die Anzahl der Schwingungen des tönenden Körpers eine ſolche, daß ein Verhältniß wie das angegebene ſich nicht vollkommen herſtellen läßt, ſo giebt es keinen Dreiklang, keine Harmonie, ſondern eine Disharmonie und es gehört ganz wenig dazu. Statt 100 zu 125 nehme man 101 zu

125, so ist die Reduction auf eine einfache Zahl ganz unmöglich und dann hört das Ohr nicht eine Terz, sondern einen Mißklang.

Die Speichensirene.

Wenn die Leser dies nicht glauben, wenn sie überhaupt nicht glauben, daß Töne auf diese Weise entstehen, so muß ich Sie schon mit der einfachsten Art, Töne zu erregen, bekannt machen, es ist zugleich die mächtigste. Die Töne sind von einer beinahe furchtbar zu nennenden Stärke und sie besiegen alle anderen gleichzeitig erregten.

Fig. 9.



Die Leser sehen in der Fig. 9 ein Gestell mit einem Rade R, welches durch die Kurbel drehbar und dessen Axe durch die kleine Schraube v so zu verschieben ist, daß man den Druck des Rades auf den Trieb des tongebenden Werkzeuges ab reguliren kann. Dies ist ein bloßes Speichenpaar in der Mitte mit einer Axe versehen, an welcher eine Scheibe steckt, die mit dem Rade R in Berührung kommt. Das kleine wie das große Rad ist auf dem äußersten Umfang mit einem rauh gemachten Lederriemen bezogen und die Räder drücken mäßig auf einander, so daß wenn R gedreht wird, ab sich im Verhältniß des Durchmessers seiner Scheibe zu dem Durchmesser des Rades öfter umdreht. Hat die Scheibe 4 Zoll im Durchmesser, das Rad aber 2 Fuß und 8 Zoll, so wird bei einer Umdrehung des Rades die Scheibe sich 8 mal umdrehen.

Der Rahmen des Gestelles trägt einen schrägen, pultartigen Kasten, in dessen Deckel ein Einschnitt f gemacht ist, gerade groß genug, um die Speichen hindurch zu lassen. Vorn an der höheren Stelle des Pultes ist

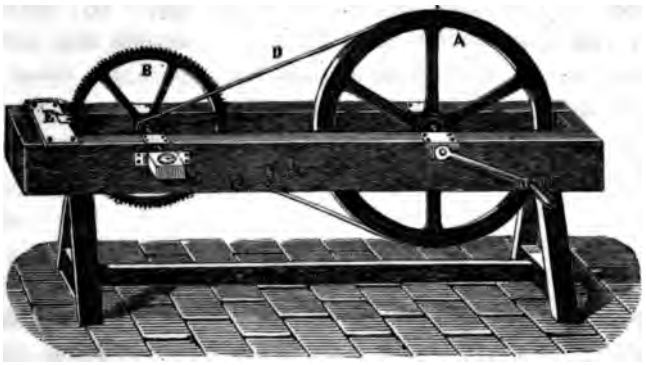
eine Thüre *P* angebracht, um den Luftzutritt zur Verbreitung des Schalles zu gestatten.

Wenn man nun das Rad umdreht, so daß es in einer Secunde einen Umlauf macht, also die Speichen 16 mal durch den Einschnitt *f* gehen (jede Speiche 8 mal), so hört man einen sonoren, tiefen Ton und mehr als eine Octave tiefer als der tiefste Orgelton, aber bei seiner Tiefe ist er so donnerähnlich stark, daß man weder den Klang der stärksten Register einer Orgel, noch seine eigene Stimme hört. Die Erregung dieses mächtigen Tones rührt doch ganz offenbar von dem Zusammendrücken und Loslassen der Luft her, denn ein anderer Vorgang findet nicht statt.

Die Radsirene.

Noch klarer und unzweifelhafter wird dies durch die Radsirene, welche gleich der vorigen von dem französischen Gelehrten Savart erfunden worden ist und welche, wie die Fig. 10 zeigt, dem vorhin beschriebenen Apparat sehr ähnlich ist, doch in der Tonerregung davon abweicht. *A* ist ein mehrere Fuß großes Rad, welches durch den Schnurlauf *D* ein kleineres metallenes Rad *B* in Bewegung setzt, an dessen Umkreis in gleichen Entfernungen von einander Zähne eingeschnitten sind.

Fig. 10.



An der Axe des Zahnrades *B* ist ein Uhrwerk *H* angebracht, welches gestattet, daß man die Zahl der Umdrehungen in einer gewissen Zeit genau zählen kann.

Auf die Querleiste *E* legt man eine Visitenkarte oder eine schwache Stahlfeder, kurz einen elastischen Körper, der dünn genug ist, um einem

schwachen Drucke nachzugeben und der nach aufhörendem Druck wieder in seine vorige Lage zurückkehrt.

Sobald man durch Drehung des großen Rades *A* das kleine *B* in Bewegung setzt, gehen die Zähne desselben an der Karte *E* vorbei, jeder derselben faßt sie und drückt sie nieder, sobald sie losgelassen wird, indem der Zahn vorbei ist, springt sie durch ihre Elasticität auf, wird aber sogleich wieder von dem nächsten Zahn erfaßt u. s. w.

Hierdurch hat man es in seiner Gewalt, ein Luftstückchen, der Größe der von dem Rade in Bewegung gesetzten Ecke der Karte entsprechend, so oft zusammenzudrücken und auszudehnen als man will und hierdurch entstehen ganz deutliche, musikalische Töne, wenn schon dieselben nicht schön sind.

Der Zähler giebt nun die Möglichkeit, die Anzahl von Drehungen des Rades, und da man die Menge der darauf eingeschnittenen Zähne kennt, auch die Anzahl von Schwingungen, welche die Karte oder an ihrer Stelle die Feder, welche man bei *E* festhält, macht, genau zu ermitteln, und hieraus erfährt man, daß 300 Schwingungen in einer Secunde höchst genau die tiefere Octave eines Tones geben, der durch 600 Schwingungen erzeugt wird, und es ist auf diese Art möglich, jedes andere Tonverhältniß hervorzubringen und dabei die Anzahl der Schwingungen, welche erforderlich sind, genau zu zählen.

Hier wäre auch für den Ungläubigsten schon eine Ueberzeugung zu gewinnen, daß die erschütterte Luft der tongebende Körper sei, allein da die Stahlfeder doch ihren Antheil daran hat, ist der Versuch nicht vollkommen rein, zudem sind die Töne durchaus nicht schön, sie haben etwas unangenehm schwirrendes an sich, welches den Laien bewegen wird zu sagen: „das ist gar kein musikalischer Ton, Beweise auf solche Art geführt sind keine Beweise."

Die Lochsirene.

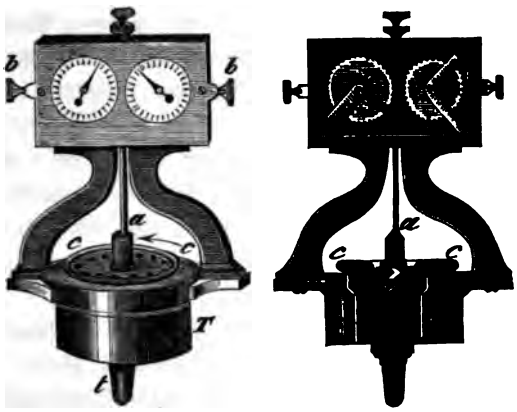
Obschon dies ganz unrichtig ist und ein Ton, er möge nun einer Glasharmonika oder einem fallenden Kupferdreier seinen Ursprung verdanken, immer ein Ton bleibt, so wollen wir doch Cognard Latours' Lochsirene anführen, bei welcher nun nichts weiter als die vibrirende Luft den Ton erzeugt.

Die Fig. 11 (S. 17) zeigt dieselbe in einem Viertel der natürlichen Größe, links von der Vorderseite, rechts von der Rückseite und im theilweisen Durchschnitt.

ist eine Trommel von Messing, welche oben einen etwas stärkeren

Rand hat, auf dem ſich zwei Arme erheben, ein Uhrwerk *b c* tragen, welches beſtimmt iſt, die Umdrehungen einer Scheibe zu zählen. Dieſe Scheibe ſieht

Fig. 11.



man den oberen Deckel einer kleinen Trommel oder Doſe bilden, zwiſchen *c* und *c*, woſelbſt der Pfeil auch die Richtung der Drehung angiebt. Die Scheibe hat eine beliebige Anzahl Löcher auf ihrem Umfange, in der Mitte aber trägt ſie einen Stift *a*, welcher, wie man in der zweiten Figur ſieht, oben eine ſogenannte Schraube ohne Ende, eine Schnecke hat, deren Windungen in die Zähne des Rades *r* eingreifen und daſſelbe bei jeder Umdrehung der Scheibe um einen Zahn vorwärts befördern. Bei einer vollſtändigen Umdrehung dieſes Rades wird nun das Rad *s* um einen Zahn weiter geſchoben und auf dieſe Weiſe kann man an den Zeigern, welche die Figur links zeigt, ſehr genau zählen, wie viele Umdrehungen die Scheibe *c c* gemacht hat.

Die Doſe hat einen doppelten Deckel, unter dem ſichtbaren *c c* ſteht ein anderer verborgen und feſt mit der Doſe verbunden. Indeß der untere Deckel befeſtigt iſt, hat der obere auf der Axe *a* und mit derſelben die leichteſte Beweglichkeit. Beide Deckel ſind mit einer gleichen Anzahl von Löchern und in ganz gleichen Entfernungen durchbohrt; es kommt ſehr viel darauf an, daß dieſe Entfernungen wirklich vollkommen gleich ſind und daß auch die Löcher gleich groß ſind. Ueberdies aber müſſen die Löcher ſchräg gebohrt ſein, ſo daß der Bohrer mit der Platte während der Arbeit nicht einen rechten Winkel, ſondern einen ſpitzen machte, die Schrägung dieſer Bohrlöcher muß ferner in der unteren feſtſtehenden Platte eine gleichbleibende aber beliebige Richtung haben, in der oberen iſt die Richtung der Löcher

nicht beliebig, sie muß die entgegengesetzte der Löcher der unteren Platte sein. Die Figur rechts wird dieses versinnlichen, bei *o*, welches in dem schwarzen Raum des unteren Theiles der Figur zu suchen ist, sieht man die beiden Deckelplatten durchschnitten und zwar so, daß auch gerade ein Loch in jeder Platte durchschnitten ist; in der unteren Platte, welche fest steht, geht die Richtung der Bohrung von unten links nach oben rechts, in der oberen beweglichen Platte geht die Richtung umgekehrt von unten rechts nach oben links.

Die Trommel *T* ist hohl und kann mit dem Rohre *t* auf einen Blaseapparat gesetzt, allenfalls auch mit dem Munde angeblasen werden, nur giebt das letztere keinen constanten Strom, es läßt sich also das Experiment zwar machen, jedoch sehr unvollkommen und nicht so, daß man etwas messen könnte.

Wenn nun in das Rohr *t* geblasen wird, so verdichtet sich darin die Luft und stehen die Oeffnungen der beiden Deckel gerade über einander, so entweicht die Luft gleichzeitig aus allen diesen Oeffnungen, da sie aber in schräger Richtung auf die Wände der Bohrlöcher der oberen beweglichen Scheibe drückt, so drückt sie diese zur Seite und die Scheibe fängt an, sich um ihre Axe zu drehen. Natürlich kommen dadurch die Löcher in der oberen Scheibe über die geschlossene Stelle der unteren zu stehen, und wenn das Beharrungsvermögen nicht wäre, so würde nun die Scheibe stillstehen, allein durch dieses Vermögen setzt sie ihren Weg über die todten Punkte fort und alsbald trifft ein neuer Luftstrom aus jeder Oeffnung der unteren Platte auf jede ihr gegenüberstehende Wandung der Bohrlöcher der oberen Scheibe und in Folge dessen geht die Bewegung nun etwas schneller vor sich.

Wenn nun jede der Platten 25 Oeffnungen hat, so wird der Stoß auf alle 25 bei jedem 25sten Theil der Umdrehung wiederholt, oder, was dasselbe ist, er wird bei einer ganzen Umdrehung der Scheibe 25 mal wiederholt.

Die Platten sind kaum eine Linie dick; daß die Luft also hier in der Art tönen kann, wie bei einem hohlen Schlüssel, in welchen man hineinbläst, wie bei der Panflöte, davon kann keine Rede sein; dennoch läßt sich, sobald die Schnelligkeit der Umdrehung einen gewissen Grad erreicht hat, ein äußerst schöner Ton hören, welcher höchst kraftvoll und sonor ist, dessen Höhe mit der Schnelligkeit der Umdrehungen steigt, oder, wenn sie langsamer werden, sinkt und den Beweis liefert, daß lediglich die kleinen Partikeln Luft, welche die Löcher füllen und abwechselnd in Bewegung gesetzt werden und ruhen, Töne mächtigster und lieblichster Art erzeugen.

Verbesserungen des Apparates.

Professor Dove hat diesen Apparat sehr vervollkommnet, indem er auf der beweglichen wie auf der ruhenden Platte vier Reihen Löcher bohren läßt, welche, in concentrischen Kreisen vertheilt, solche Zahlenverhältnisse haben, daß sie einen reinen Accord geben; hat also der äußerste größte Ring 24 Oeffnungen, so muß der zweite 18, der dritte 15, der vierte 12 haben. Der innerste Ring giebt dann den Grundton, der äußerste die Octave an, zwischen beiden von innen herausgezählt Terz und Quinte.

Es müssen nicht gerade diese Zahlen sein, man kann dasselbe machen mit 32, 24, 20 und 16 Oeffnungen, diese verhalten sich auch vollkommen genau so zu einander, wie die obigen: $16:20 = 12:15 = 4:5$ oder $16:32 = 12:24 = 1:2$; allein diese Verhältnisse müssen eingehalten werden, sonst erhält man keinen Accord, sondern einen Mißklang. Wenn man 25 statt 24 setzt, lassen sich die Zwischenstufen nicht geben, die Octave davon müßte im Verhältniß von 2 zu 1 stehen, dazu ist aber 12 zu klein und 13 zu groß. Eben so läßt sich das Verhältniß der Quart des tieferen Tones (gleich der Quinte des höheren) nicht geben, denn 25 läßt sich nicht so theilen, daß das nächste Intervall 3 Antheile der ganzen Schwingungsanzahl hat, 18 als $\frac{3}{4}$ von 25 ist zu klein und 19 ist zu groß.

Hierauf hat man bei der Bohrung der Löcher zu sehen. Die Dove'sche Sirene ist nun zum Angeben des harmonischen Dreiklanges vollkommen abgestimmt, d. h. richtig gebohrt, um aber jeden der vier Töne geben zu können, bedarf man noch einer besonderen Vorrichtung.

Im Innern der Sirene liegen zunächst der mit Löchern versehenen festen Decke vier concentrische, äußerst dünne messingne Ringe mit eben so vielen Löchern als die feststehende Platte in jeder Abtheilung hat. In der Regel stehen diese Ringe so, daß ihre Oeffnungen gerade auf die gefüllten Zwischenräume treffen. Durch einen Druck von außen kann man aber jeden dieser Ringe einzeln um eine solche Weite verschieben, daß seine Oeffnungen auch vollkommen auf die Oeffnungen der feststehenden Platte kommen. Nunmehr hat man es in seiner Gewalt, einen Ton oder mehrere Töne, endlich alle vier gleichzeitig ertönen zu lassen. In diesem Falle hört man außer dem eigentlichen Accord noch den sogenannten tartinischen Ton, nämlich durch das Zusammentreffen der Quinte mit dem Grundton eine Anzahl von Schwingungen, welche die Octave des Grundtons hervorrufen: treffen z. B. 192 Vibrationen mit 288 zusammen, so hat man Grundton und höhere Quinte; von diesen treffen zwei Schwingungen zusammen, je die vierte der

einen und die sechste der anderen Anzahl. Aus dieser Combination entspringt ein neuer Ton, der, obschon er tiefer ist als beide anderen, die ihn erzeugen, doch eben so laut klingt, da jeder der Schläge, der Pulsationen, die ihn erzeugen, ein doppelter ist.

Auch hier wie in der ganzen Anordnung ist nicht zu verkennen, daß der Ton lediglich durch Vibration einer überaus kurzen Luftsäule hervorgebracht wird und dieses darzuthun, war der Zweck des bisher Gesagten.

Die Bisharmonika.

Die Töne, welche so erzeugt werden, sind überaus schön, ja man kann beinahe sagen, es sind die schönsten, die bis jetzt erreicht worden sind. Die sogenannte Bisharmonika beruht lediglich hierauf und dasjenige, was als neue Erfindung vor etwa 20 Jahren auftauchte, die Mundharmonika, aus welcher die Ziehharmonika geworden, ist nichts als eine Entwürdigung des vollkommen schönen oben genannten Instruments. Jeder Ton desselben wird dadurch angegeben, daß ein gleichmäßiger Luftstrom durch eine lange schmale Oeffnung geht, in deren Mitte eine sehr schwache, federnde Metallzunge, durch den Luftstrom in Vibration gesetzt, die Oeffnung bald schließt, bald frei läßt.

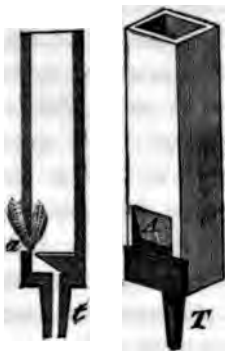
Die Feder an sich giebt keinen Ton, das Schwirren, welches man vernimmt, wenn man sie durch den Finger schnellend in Bewegung setzt, ist kein Ton, auch läßt sich dieses Schwirren nur hören, wenn im ersten Augenblick des Anschlagens die Feder sehr weite Schwingungen macht, sobald diese vorüber sind, hört auch das schärfste Ohr nichts davon, indeß dieselben unhörbaren Schwingungen durch das Anblasen der Oeffnung, in der die Feder schwingt, einen sonoren und zugleich ungemein lieblichen Ton vermitteln, der wiederum bei aller Lieblichkeit, welche die der schönsten menschlichen Stimme weit hinter sich läßt (daher dies Instrument gar nicht zur Begleitung des Gesanges brauchbar), doch eine solche Kraft hat, daß das Instrument für eine mäßig große Kirche die Orgel ersetzt, wie es denn überhaupt durch die Natur seiner Töne sich zum getragenen, gebundenen Choralstyl ausschließlich eignet, zur Durchführung von Tänzen aber gar nicht brauchbar ist.

Die Orgelpfeife.

Haben wir in dem Vorigen bewiesen, daß schnell genug auf einander de Lufterschütterungen Töne mannigfaltigster Art hervorbringen können,

so wollen wir nunmehr zeigen, wie dieses Wissen practisch angewendet, zur Kunst werden kann.

Fig. 12.



Wohl ein Jeder hat die hölzerne Pfeife eines Leierkastens, einer Orgel gesehen, wie dieselbe durch die nebenstehende Fig. 12 dargestellt wird. Wir erblicken einen viereckigen, länglichen Kasten, gleichviel von welchem Material (in der Theorie, denn die practische Ausführung fordert allerdings eine sorgfältige Auswahl des Materials, für den Charakter des Tones, für den Klang, die Färbung, den Schmelz — lauter Ausdrücke, welche zeigen, wie man nach einem passenden gesucht hat, ohne ihn zu finden — ist das Material von größter Wichtigkeit, eine Pfeife von Cedernholz klingt viel sanfter als eine solche von Zinn und eine Pfeife von Messing giebt einen schneidenden Ton, wenn schon alle drei denselben Ton angeben; für die Theorie aber ist das Material gleichgültig, weil nicht dies, sondern die eingeschlossene Luft der tongebende Körper ist), sehen unten eine breite Oeffnung *A*, welche der Mund heißt und sehen ferner bei *T* ein Rohr, durch welches die Luft eintreten kann, um den Ton zu wecken.

Es handelt sich bei der Pfeife darum, die Luftsäule, welche in dem Kasten eingeschlossen ist, zum Vibriren zu bringen. Bei einer Darmsaite geschieht dies durch einen Violinbogen, dessen mit Harz bestrichene Haare an der Saite haften und beim Streichen dieselbe unaufhörlich ziehen und loslassen, wieder ziehen und loslassen; bei einer Luftsäule muß der Violinbogen, der Streichapparat wieder Luft sein und die Vibration wird in folgender Art bewerkstelligt:

Bei der Hauptfigur sieht man bei *A* eine Schrägung der einen Pfeifenwand, sie heißt das obere Labium; darunter springt ein Querstück von Holz etwas vor, dies heißt das untere Labium. Zwischen diesen beiden Lippen befindet sich eine Oeffnung (der Mund), welche zu dem hohlen Raum innerhalb der vier Wände der Pfeife führt. Allein eben dort ist noch eine zweite Oeffnung verborgen, welche die Figur daneben zeigt. Hier sehen wir, auf welche Weise das Rohr *t* mit einem hohlen Raum von dreieckiger Gestalt unter der Pfeife communicirt. Bläst man bei *t* hinein, so kann die in diesem Raum zusammengepreßte Luft nirgends entweichen als aus der oberen Spitze des Dreiecks, d. h. aus einer sehr schmalen

Spalte, welche hinter dem unteren Labium der Pfeife verborgen, in der Figur links aber im Durchschnitt zu sehen ist.

Diese Spalte steht genau senkrecht unter *A* oder *a*, der Zuschärfung, der Schrägung der vorderen Wand der Pfeife. Der Luftstrom, welcher aus der Spalte getrieben wird und sich sofort ausbreitet, wie bei *a* zu sehen, bringt zur Hälfte in die Pfeife, zur Hälfte geht er an der Schneide der oberen Lippe vorbei. Dieses Eindringen und Vorbeigehen aber findet nicht in einem gleichmäßigen Zuge statt. So wäre es, wenn man von dem oberen Labium zum unteren ein Stück Pappe über die ganze Oeffnung legte, dann ginge alle Luft ungetheilt in die Pfeife und dann ginge eben so die Luft in der Pfeife aus der oberen Oeffnung hinaus, aber es entstände kein Ton; da aber die Luft sich an der oberen Lippe der Pfeife stößt, so geht sie ruckweise, stoßweise in die Pfeife, aber in so kurzen Intervallen, daß sie dadurch nicht die Luft aus der Röhre vertreibt, sondern nur zusammendrückt und wieder losläßt, dies Spiel aber in solcher Häufigkeit wiederholt, daß daraus ein Erzittern der ganzen Luftsäule entsteht.

Ein ganz ähnliches Erzeugen dieses Bebens der Luft findet statt, wenn der Wind durch einen entlaubten Baum, durch die Takelagen eines Schiffes saust und würde man solch eine gespannte Schnur, welche vom Winde in Schwingungen gesetzt wird, als Streichinstrument einer Orgelpfeife anwenden, so würde man gleichfalls Töne erlangen, allein dies wäre etwas zu umständlich und so bleibt man natürlich lieber bei der leichteren und gewöhnlichen Art.

Luftvibrationen sichtbar.

Daß ein solches Erzittern der Luft stattfindet in der Pfeife, kann man auf zweierlei Art sichtbar machen. Vor allen Dingen muß die Pfeife aus einem hinlänglich weiten Glasrohr oder aus vier länglichen schmalen Glastafeln bestehen, so daß man sehen kann, was darin vorgeht. In solch eine Pfeife bläst man recht dicken Tabacksrauch, indem man die obere Oeffnung an den Mund hält und den Qualm langsam hineintreten läßt.

Ist nunmehr die ganze Röhre mit Rauch gefüllt, so bläst man mit dem Munde oder einem Blasebalg Wind in die untere Oeffnung, in das Rohr *t* der Fig. 12 und es wird dadurch der Rauch nicht aus der oberen weiten Oeffnung getrieben werden, wohl aber wird man die Luft oder vielmehr die Rauchtheilchen um so deutlicher sich bewegen sehen, je größer die Pfeife ist, je langsamere Schwingungen also die Luft macht. Die andere gleichfalls höchst zweckmäßige Methode ist beinahe noch lehrreicher.

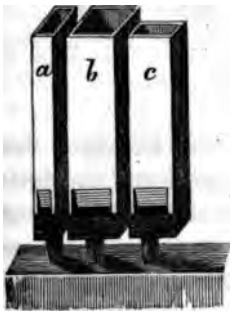
Wenn man die gläserne offene Pfeife auf einem Gebläse stehen hat und sie im ununterbrochenen Tönen ist, so pudert man Bärlappsamen aus einem Mousselinbeutelchen auf die obere Oeffnung, doch aus solcher Entfernung, daß dadurch der Ton nicht verändert wird.

Sobald der Staub die obere Mündung berührt, sinkt er deutlich sichtbar ruckweise hinein, so daß er eine Strecke hineingezogen wird, dann still steht, dann wieder eine Strecke weiter rückt, dann wieder still steht, natürlich in einer solchen Schnelligkeit, daß das Lesen, wie dies geschieht, keinen Begriff von der Sache giebt, doch bei einer Pfeife von 4 Fuß Länge ist es auf das allerdeutlichste zu sehen, indem die Hälfte der Strecke im Innern der Röhre mit etwa 250 Absätzen in einer Secunde erreicht wird, worauf in der nächsten Secunde die andere Hälfte sich mit dem Staube füllt. Wenn durch die Blasevorrichtung der Ton im lauten Ansprechen erhalten wird, so kann man dieses Vibriren lange Zeit verfolgen.

Aeußere Form der Pfeifen.

Bei den Tönen, welche eine Orgelpfeife giebt, kommt es lediglich auf die Länge des Rohres von dem unteren Labium bis zur oberen Oeffnung an, nicht auf die äußere Form. Wenn die drei Pfeifen *a*, *b* und *c* gleich lang sind, so ist es ganz gleichgültig, daß *a* dreimal so breit als dick, *b* doppelt so breit als dick, *c* aber ganz quadratisch im Durchschnitt ist, die Pfeife dürfte auch einen kreisförmigen Durchschnitt (wie dies bei den Metallpfeifen immer der Fall ist) oder sonst eine beliebige Gestalt haben, es hat dies auf die Höhe des Tones gar keinen Einfluß. Ist aber wie bei *c* (Fig. 13) die Tiefe der Luftsäule sehr viel geringer, so wird allerdings der Ton dadurch höher.

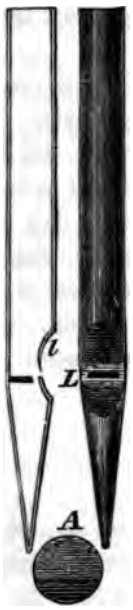
Fig. 13.



Anders aber ist es mit der Stärke und der Rundung des Tones, diese hängt mit von der Gestalt der Pfeife, vor Allem aber von der Masse, aus der sie gefertigt ist und von dem Verhältniß ihrer Länge zur Breite ab.

Bei den Pfeifen von cylindrischer Gestalt bedient man sich einer anderen Labialbildung als bei viereckigen; die Fig. 14 auf der folgenden Seite versinnlicht dies. Stellen wir uns unter der Figur rechts nicht eine hohle Röhre, sondern einen runden Stab wie einen Bleistift vor, so sind die beiden Labien oder Lippen so gestellt, als ob man mit einem Federmesser einen Spahn herausgeschnitten hätte; die Zeichnung giebt dies von zwei

Fig. 14.



Seiten an, bei *L* ſieht man den Schnitt von vorn, bei *l* von der Seite, man ſieht auch die Stelle, wo derſelbe angebracht wird. Die Röhre iſt nämlich unten kegelförmig und wird erſt von da ab cylindriſch, wo ſie zu tönen beginnen ſoll. An dieſer Stelle, wo der Kegel, deſſen dünneres Ende in den Windkaſten geſteckt wird, aufhört und der Cylinder anfängt, ſind die beiden Körper durch eine Scheibe *A* von einander getrennt, der größere, hell ſchattirte Theil liegt innerhalb des Rohres, die vordere ſchmalere von jener durch einen ſchwarzen Strich getrennt, iſt als das herabhängende untere Labium zu denken. Der ſchwarze Strich ſelbſt iſt der ſchmale Spalt (ſ. die Figur links), welcher der in dem kegelförmigen Theil zuſammengepreßten Luft geſtattet, zu entweichen und durch das Anſchlagen an den ſchmalen Streifen *l* des oberen Labiums die vibrirende Bewegung der Luft in der Säule hervorzurufen. Es iſt, wie wir ſehen, ganz daſſelbe wie bei den viereckigen Pfeifen und nur eine geringe Veränderung der cylindriſchen Form wegen nöthig geworden, im Prinzip iſt nichts geändert.

Transverſalſchwingungen.

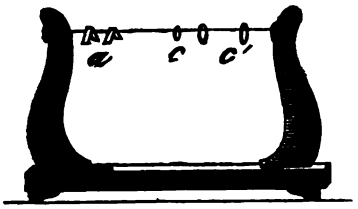
Wir haben geſehen, daß tönende Körper in zitternder Bewegung ſind, ſo lange ſie klingen, wir können uns hiervon auch noch auf mancherlei Weiſe überzeugen. Wenn man eine Glasglocke *A*, wie man ſie zur Bedeckung einer Uhr braucht, ja wenn man ein großes Bierglas durch Anſchlagen zum Tönen bringt und ein Schrotkügelchen, das an einem Faden *i* hängt, in der Nähe der Mündung der Glocke mit dieſer in Berührung bringt, ſo wird man während des Tönens derſelben das Kügelchen ſehr deutlich klirren, daran hundertfältig anſchlagen hören, welches nicht geſchehen könnte, wenn die tönende Glocke bei dieſen Tönen in Ruhe wäre. Klingt die Glocke nicht, ſo hängt das Kügelchen bewegungslos daneben.

Fig. 15.

Wenn man über irgend ein Geſtell (ſ. die Fig. 16, S. 25) einen Draht oder eine Darmſaite ſpannt (ein umgekehrter Tiſch thut daſſelbe, wenn

man zwischen zwei am weitesten von einander entfernten Füßen eine solche Saite knüpft), scharf genug, daß diese einen Ton giebt, auf dieser Saite aber Ringe von Metall (Gardinenringe) $c\,c'$ oder schmale Streifchen Papier a hängt, so wird man beim Anschlagen der Saite die Ringe klirrend darauf springen hören und die letzteren werden herabgeworfen werden.

Fig. 16.

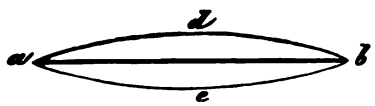


Ja das bloße Gefühl überzeugt uns von solcher Vibration, wenn wir eine angeschlagene Stimmgabel leise mit den Fingern berühren. Das Beben derselben ist so deutlich bemerkbar, daß es zartnervigen Personen sogar eine unangenehme Empfindung macht, ihre Nerven aufregt.

Wenn hierdurch bewiesen ist, daß tönende Körper wirklich vibriren, so ist doch noch nicht gezeigt, wie sie vibriren.

Mit sehr langen Saiten, d. h. eigentlich mit gespannten Schnüren von 10—12 Klafter Länge, ist dies ziemlich leicht zu zeigen. Ist solch eine Schnur gespannt, und giebt sie einen Ton, so wird man sehr deutlich sehen, daß dieselbe einen großen Bogen nach jeder Seite beschreibt. Die Entfernung von c nach d nennt man die Excursion. Zwischen diesen Grenzen schwankt sie, so lange der Ton dauert, hin und her, viel schneller als daß man die einzelnen Schwingungen sehen könnte, doch nimmt man die Summe derselben sehr wohl wahr, die Saite scheint so breit zu werden als der Zwischenraum $c\,d$. Die Excursionen werden immer schwächer, endlich verschwinden sie ganz und der Ton hört auf.

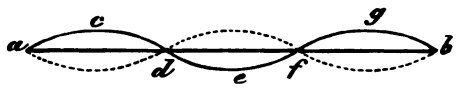
Fig. 17.



Wenn man eine solche gespannte Schnur in der Mitte festhält und die eine Hälfte zum Tönen bringt, so schwingt alsbald die andere Hälfte mit, aber im entgegengesetzten Sinne. Die ausgezogene Linie deutet so wie die punktirte Linie diejenige Stellung an, welche die beiden Theile der Seiten gleichzeitig haben, ist $a\,o$ nach oben gebogen, so ist in demselben Augenblick $b\,o$ nach unten gebogen und umgekehrt. Sieht man jedoch die Gesammtheit der Schwingungen an, so nimmt man nichts anderes wahr als daß die obere Fig. 17 sich hier verdoppelt zeigt, statt einer schwingenden Seite hat man hier zwei, welche halb so lang sind als die oberen. Der Punkt o, welcher ruht, heißt der Knotenpunkt.

Fig 18.

Fig. 19.



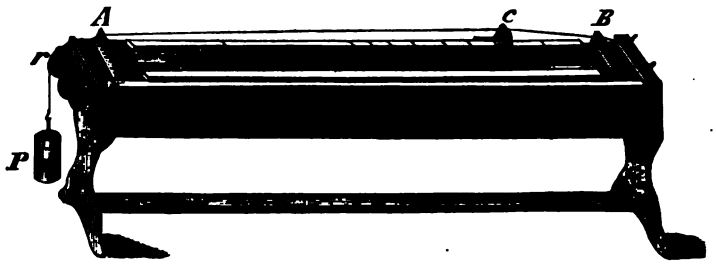
Wird die Sehne *ab* zweimal in gleichen Abständen unterstützt, so daß drei gleiche Saitenlängen entstehen, so sieht man die Saite in drei verschiedenen Abtheilungen ihre Excursionen machen und man hat alsdann die Knotenpunkte *d* und *f*, wird die Theilung noch weiter getrieben, so erhält man drei und mehr Knotenpunkte.

Hierbei findet das höchst Merkwürdige statt, daß der Experimentator nur eine Abtheilung zu machen braucht und die anderen sich von selbst machen.

Das Monochord.

Im Kleinen, auf eine sehr anschauliche Weise, wird dies Experiment in allen seinen Abänderungen durch das Monochord gemacht, ein Instrument, dessen Wichtigkeit wir erst bei den Verhältnissen der Töne zu einander kennen lernen werden. (Es sollen diese Verhältnisse und das sie erläuternde Instrument von Pythagoras erfunden worden sein.) Hier dient dasselbe nur zur Veranschaulichung der Art, wie man die Schwingungen auch mit Saiten von 4 Fuß Länge zeigen kann.

Fig. 20.



Ueber den Kasten *AB*, welcher auf zwei Füßen steht, wird eine Saite gespannt, indem man an dem einen Ende *B* dieselbe mittelst eines Stiftes befestigt, an dem andern Ende aber über eine Rolle *r* gehen läßt und durch ein Gewicht spannt; die Saitenlänge zwischen den beiden Stegen *A* und *B* ist nach irgend einem Maßstabe in gleiche Theile getheilt und ein dritter Steg *c*, ein wenig höher als die beiden andern, ist beweglich, kann zur Unterstützung der Saite an beliebige Punkte gerückt werden.

Daß der Kasten übrigens mit Resonanzboden und Schalllöchern versehen, wie die Figur zeigt, schadet zwar nichts, hat aber auch keinen Vortheil, denn man will ja nicht liebliche, glockenartige Töne, man will überhaupt Töne hervorbringen, gleichviel welche, wenn man daran nur die Gesetze der Tonfolge und der Schwingungen erkennen kann. Gewöhnlich sind übrigens mehrere Saiten von gleichem Material und gleicher Stimmung über die Stege A und B gespannt.

Benutzt man den Steg c gar nicht und hängt man über die ganze Saite sogenannte Reuterlein, d. h. Papierschnitzelchen von $^1/_{16}$ Zoll Breite und $^1/_2$ Zoll Länge, welche in der Mitte zu einer Gabel gebogen sind, so fliegen alle in dem Augenblick, wo man die Saite zum Tönen bringt, herunter.

Setzt man den Steg c genau in die Mitte der Saite und hängt man auf die eine Hälfte ein Dutzend Reuterlein und streicht man nun die andere Hälfte mit einem Violinbogen an (oder bringt man sie auf eine sonst beliebige Weise zum Tönen), so fliegen die Reuterlein auch von dem Theil der Saite herab, welcher nicht gestrichen worden ist.

Setzt man den Steg bei $^1/_3$ der Länge unter und behängt man nun die Saite mit Reuterlein, deren einer aber ganz genau auf der Stelle des zweiten Drittels der Saite hängt, so wird, sobald man die Saite bei dem abgeschnittenen Drittel streicht, die ganze Masse der Reuterlein von den andern zwei Dritteln herunterfliegen, nur der eine Reuter, welcher genau auf der andern Abtheilungsstelle ruht, bleibt an seinem Orte sitzen.

Wenn man den Steg c gerade unter $^1/_4$ der Saitenlänge stellt und nunmehr das Experiment wiederholt, so werden 2 Reuterlein sitzen bleiben, und ihre Stellen werden gerade die beiden andern Theilungspunkte sein, durch welche die Saite in vier Abtheilungen zerlegt wird.

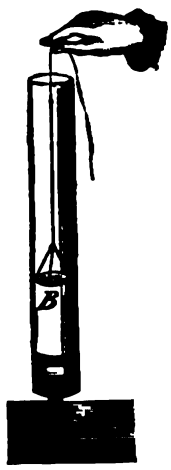
Man sieht an diesem Experiment dasjenige, was das früher beschriebene mit dem gespannten Seil im Großen zeigte. Es schwingt entweder die Saite im Ganzen oder in Abtheilungen, und wenn eine Abtheilung (welche jedoch in dem Ganzen gerade aufgehen muß) künstlich gemacht wird, so machen sich die anderen von selbst, und den Abtheilungen entsprechen dann auch die Töne, so daß wenn die Saite ganz schwingt, der Grundton erscheint, der tiefste den sie geben kann, daß bei einer Abtheilung (bei der Halbirung) die Octave und bei drei Abtheilungspunkten (d. h. wenn die Saite in Viertel getheilt wird) die Doppeloctave gehört wird.

früher ging die Luftſäule nur von dem Labium bis zum Schieber, jetzt aber geht ſie durch den Schieber hindurch, von dem Labium bis zur oberen Mündung: hieraus geht hervor, erſtens daß eine offene Pfeife denſelben Ton giebt wie eine geſchloſſene (gedeckte oder gedackte, das Letztere iſt der eigentliche Kunſtausdruck) von der halben Länge: zweitens daß in der Mitte der offenen Pfeife ein Knotenpunkt ſein müſſe.

Sichtbarmachen eines Knotenpunktes.

Dieſen Knotenpunkt, den wir vorausſetzen müſſen, wenn wir obige Erfahrung für uns haben, ſichtbar zu machen, iſt der neueren Phyſik gelungen.

Fig. 22.



Wenn wir in der nebenſtehenden Fig. 22 eine Orgelpfeife mit einem Glaskörper ſehen, welche mit dem Windrohr (*) in einem Blaſekaſten ſteckt und deren Mundſtück mit Ober- und Unterlippe von Holz iſt (wie dies nicht anders ſein kann, da daſſelbe aus Glas zu formen, kaum möglich, und wenn es geſchehen ſollte, enorm theuer wäre), ſo können wir, was darin geſchieht, durch eine ſehr einfache Vorrichtung anſchaulich machen.

Ueber einen kleinen Ring *B*, der bei Weitem nicht den Durchmeſſer der Glasröhre haben darf und der daher in der Figur etwas zu groß erſcheint, wird ein Stückchen Goldſchlägerhaut gezogen, naß übergeſpannt. Wenn daſſelbe trocken iſt, ſo befeſtigt man an drei gleich weit von einander entfernten Punkten des Ringes feine Seidenfäden, verknüpft dieſe in einer geringen Entfernung von dem Ringe, ſchneidet zwei davon ab und hält an dem dritten, wie die Figur angiebt, das Scheibchen frei ſchwebend in das Rohr, nachdem man etwas ganz feinen trocknen Sand darauf geſtreut hat.

Wenn man das Scheibchen ſo hält, daß es genau in der Mitte zwiſchen dem oberen Labium und der Oeffnung des Rohres ſchwebt, ſo wird beim Anblaſen der Pfeife der Sand auf dem kleinen Tambourin ganz ruhig liegen bleiben, ſobald man aber tiefer damit geht, wie die Figur zeigt, oder es höher hält, ſo fängt der Sand an zu beben und in der Nähe der beiden Oeffnungen oben und unten macht er ſo ſtarke Sprünge, daß man das Geräuſch der hüpfenden Körner hören kann.

Es lehrt uns dieſer Verſuch, daß die Luft in der Röhre in vibrirender Bewegung iſt und daß nur an einer Stelle in derſelben vollſtändige Ruhe ſtattfindet. Dieſe Stelle liegt bei offenen Röhren in der Mitte, bei ge-

entweder von der Unrichtigkeit ihrer Beweise nichts, sie hören und sehen nicht ordentlich oder sie kennen wenigstens den Grund des Fehlers nicht. Derselbe liegt in der unvollkommenen Arbeit des Orgelbauers. Es ist wesentlich, ja zur Reinheit des Orgeltones unerläßlich, daß die Spalte, aus welcher der Wind in die Pfeife dringt, und das obere Labium vollkommen parallel sind, fehlt hieran nur ein ganz Geringes, ist die Abschrägung des Blattes nicht gleichmäßig, steht ein Ende des Labiums etwas zu hoch oder zu niedrig, verläuft die Linie der Lippe nicht rechtwinklig gegen die Seitenwände, steht das obere Labium nicht so, daß es den Luftstrom gerade spaltet, so wird dadurch der Ton modificirt und je mehr dann der genannten Uebelstände zusammentreffen, desto schlechter ist derselbe und desto weniger stimmen die theoretischen Voraussetzungen mit dem practischen Befunde überein, und will man die Richtigkeit der Theorie in der Praxis nachweisen, so muß man vollkommene Instrumente haben, die fehlerhaften weisen nichts als Fehler nach.

Chladny's Klangfiguren.

Was durch das gespannte Häutchen innerhalb der Orgelpfeife nachgewiesen worden, das kann noch viel auffallender durch Scheiben von festen Substanzen, gehämmerte Messing- oder Eisenplatten, durch Glasscheiben und Aehnliches gezeigt werden und das Verdienst, dieses gethan und wie Napoleon sagte: „die Töne sichtbar gemacht zu haben" gebührt Chladny, welcher die Bemerkung Euler's, daß klingende Scheiben ganz verschiedene Töne gäben, je nach den Stellen der Tonerregung und der Dämpfung verfolgte, durch Experimentiren bestätigte und auf eine ingeniöse Art nachwies.

Wenn man eine viereckige Glastafel von etwa 3 bis 4 Zoll Seite zwischen Daumen und Zeigefinger faßt, und mit einem Violinbogen die Mitte der einen Seite streicht, so erhält man einen Ton, der nach der Dicke der Scheibe höher, tiefer und je nach der Gleichmäßigkeit des Glases rein oder nicht rein ist, der sich jedoch bei derselben Glasscheibe wiederholen läßt.

Wenn man diese nämliche Glasscheibe eben so faßt wie vorher, jedoch mit dem Bogen nicht in der Mitte der einen Seite, sondern etwas mehr nach einer Ecke hin streicht, so erhält man einen ganz anderen, von dem zuerst hervorgebrachten ganz verschiedenen Ton, erhält aber denselben immer wieder, so oft man diese Glasscheibe auf dieselbe Art streicht.

Sehr merkwürdig war es, daß es Chladny gelang, dies sichtbar zu machen: jetzt wo wir die Sache kennen, ist nichts leichter als das — die elastischen Schwingungen sichtbar zu machen; dazu braucht man nichts weiter

als etwas trocknen Sand. Man streut denselben auf die trocknen Scheiben und wenn sie zum Tönen gebracht werden, so wird der Sand von der vibrirenden Scheibe hinweg geschleudert — was ist einfacher als dies?

Dennoch lag es so fern, daß die größten Experimentatoren jener und früherer Zeiten nichts davon wußten, daß selbst Gehler, der gewiß einer der einflußreichsten Männer nicht nur seiner Zeit war, keine Ahnung davon hat, wenn schon in den Reuterlein, welche von der tönenden Saite hinweg springen, dagegen an den Knotenpunkten liegen bleiben, das Experiment vorgebildet ist. Es ist das Ei des Columbus.

Chladny war so sehr durchdrungen von der Wichtigkeit des Gegenstandes, daß er ihn auf das Sorgfältigste geheim hielt, bis er ihn von allen Seiten beleuchtet und erschöpft hatte. Nun sollte ein Werk darüber im Druck erscheinen, allein mit dem ersten Bogen schon konnte ja ein Unterschleif geschehen, ein Anderer konnte ihm zuvorkommen und ihm den Ruhm seiner Erfindung nehmen.

Er selbst sprach sich über diese Besorgniß und über die Mittel, dem befürchteten Uebel entgegen zu kommen, aus, der Verfasser hat das Folgende aus Chladny's eignem Munde, welcher im Jahre 1823 oder 1824 in Berlin war und in dem Auditorium des bekannten Professors der Chemie, Hermbstädt, Vorlesungen über seine meteorologischen Untersuchungen sowohl als über seine Klangversuche hielt.

Chladny, der einen eigenthümlichen Bildungsgang gehabt, auf sächsischen Schulen zum Philologen gestempelt, von seinem Vater zum Juristen gemacht und auf der Universität Wittenberg habilitirt worden war, woselbst sein Vater schon lange eine Professur und eine Advocatur bekleidete, welche beide einmal der Sohn erben sollte, war doch viel mehr der Naturkunde ergeben als der Juristerei; allein obschon die Natur sonst ihre Lieblinge offen und arglos macht, so war er doch versteckt, pedantisch und argwöhnisch im höchsten Grade, wozu auch wohl seine finanzielle Lage das ihrige beitragen mochte, seine Aussichten gingen nicht in Erfüllung und er hatte oft mit bitterem Mangel zu kämpfen.

Aus diesem Mangel glaubte er durch Erfindungen sich befreien zu können und wie Beireis, der in vielen Sachen ihm ein Vorbild war, reich zu werden, darum grübelte er und speculirte er immerfort bei verschlossenen Thüren und theilte Niemandem mit, was er suchte und was er arbeitete. Seine musikalischen Instrumente, das Euphon und dasselbe Instrument, verbessert unter dem Namen Clavicylinder, waren es nicht allein, es war die Akustik überhaupt und die Klangfiguren insbesondere.

Darſtellung der Klangfiguren.

Fig. 23.

Fig. 24.

Fig. 25.

Fig. 26.

Wenn man eine Glastafel (Fig. 23) in der Mitte faßt und nachdem ſie mit ein wenig Sand recht zart beſtreut iſt, mit dem Violinbogen bei *b* ſtreicht und zum Angeben eines reinen Tones bringt, ſo werden von Ecke zu Ecke zwei Diagonalen gebildet, auf denen ſich der Sand anhäuft, indeſſen die dazwiſchen liegenden Dreiecke vollkommen rein gefegt werden. Faßt man dagegen dieſe Tafel eben ſo wie vorher und ſtreicht an einer Ecke, ſo entſteht ein gerades Kreuz (Fig. 24). Hält man dieſelbe Tafel wieder an einer andern Stelle, z. B. bei *a* nahe an einer Seite, um ein Sechſtel der ganzen Länge des Quadrats entfernt von der Kante, und ſtreicht man an eben dieſer Stelle die nächſt dem Haltepunkt gelegene Kante, ſo theilt ſich die Scheibe in zwei große und zwei kleine gerade Schwingungsflächen, welche durch drei gerade Linien von einander getrennt ſind (Fig. 25). Wird der Haltepunkt etwas mehr nach der Mitte gerückt, wie Fig. 26 zeigt, und ſtreicht man bei *b*, ſo erhält man zwei gerade Linien, welche von einer dritten durchſchnitten und halbirt werden.

Dieſe geraden Linien ſollen zwar keine geraden Linien ſein, ſondern Hyperbeln, wie Strehlke bewieſen hat, da er ſonſt nichts erfinden konnte (die Sache wird dadurch komiſch, daß er dieſe aus Sand geſtreuten Linien einem mathematiſchen Calcul unterwarf, welchem Calcul doch nicht einmal mit den feinſten mathematiſchen Inſtrumenten gezogene Linien genügen), allein hierauf legte Chladni, der ſelbſt ein ſehr tüchtiger Mathematiker war, keinen Werth, ſondern auf die Erzeugung der verſchiedenen Töne bei einer und derſelben Scheibe und auf die damit verknüpfte, immer gleich bleibende Erſcheinung derſelben Figur bei demſelben Ton.

Damit ihm diese Erfindung, diese große und wissenschaftliche Entdeckung, nicht streitig gemacht werden könne, erzählte er selbst unter herzlichem Lachen über seine Schlauheit seinen Zuhörern in seinem schneidend ordinairen sächsischen Dialekt (man suchte überhaupt hinter der ganzen unscheinbaren Erscheinung nicht den Gelehrten, verband man aber damit den Dialekt eines Leipziger Eckenstehers und sah man die ungeschickte Haltung, das vernachlässigte Aeußere, so hielt man ihn höchstens für einen heruntergekommenen versiärtischen Schneider), daß er gedacht habe, es bliebe ihm wohl nichts übrig als selbst die Buchdruckerei zu erlernen und sein Buch selbst zu setzen und zu drucken. Er begab sich nun in eine Druckerei und erlernte wirklich die Buchdruckerkunst, dann setzte er sein Werk und ließ es unter seinen Augen drucken, und verhinderte das Wegkommen auch nur eines einzigen Probedruckes (die ersten 10 bis 12 Abdrücke sind nicht brauchbar und werden immer fortgeworfen, auch diese nahm er mit nach Hause) und endlich legte er auch den Satz wieder ab, damit ihm Niemand noch nachträglich ein Exemplar abklatschen konnte.

Jetzt fehlte es noch an den Zeichnungen. Chladni konnte wohl mit Kreide an der Tafel ein paar mathematische Sätze construiren, aber nicht zeichnen — sehr einfach: er lernte zeichnen und als er dies konnte, entwarf er seine Darstellung der Klangfiguren.

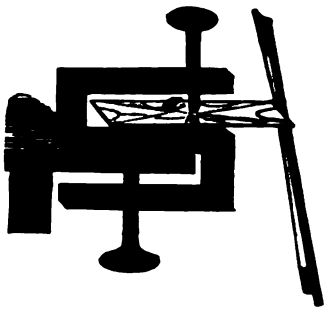
Nun mußten diese aber in Kupfer gestochen werden (die Lithographie gab es damals noch nicht, sonst hätte er es leichter gehabt). Der Kupferstecher aber konnte ja irgend einem Gelehrten Kunde von diesen Zeichnungen geben und so konnte vielleicht ein Anderer ein Plagiat an ihm begehen — es blieb Chladni also nichts übrig als in Kupfer stechen zu lernen; dies that er mit großer Emsigkeit und als er diese Künste inne hatte, da erst trat er mit seinem Werke vollständig fertig an das Tageslicht und hatte jetzt nicht mehr zu befürchten, daß ein Anderer ihm seine Erfindung streitig mache.

Allerdings war seine Entdeckung höchst wichtig, allein seine kleinliche Furcht dankte er doch wohl den ärmlichen Verhältnissen, in denen er gelebt, mit denen er bis an sein Ende zu kämpfen gehabt und welche ihn nöthigten, seinem Broderwerb mit großer Aengstlichkeit und mit der hieraus entspringenden Besorgniß vor fremder Beeinträchtigung nachzugehen.

Klangfiguren an großen Scheiben

Die Chladni'schen Figuren werden auf folgende Weise am bequemsten und alsdann auch mit größeren als vierzölligen Scheiben dargestellt.

Fig. 27.



Man läßt sich eine Schraubzwinge machen, welche wie Fig. 27 nach zwei entgegengesetzten Richtungen gebraucht werden kann. Der mittlere Stab wird auf die Tischplatte gelegt und die dazu gehörige Schraube kommt unter diese Tischplatte und dient zur Befestigung des Ganzen an dem Tisch des Experimentators.

Es steht nun auf diesem der obere Theil so frei wie möglich und zwischen der oberen Schraube *a* und dem mittleren Stab der Doppelzwinge, welcher auf dem Tische liegt, kann man ziemlich große Scheiben befestigen.

Es kommt hierbei jedoch darauf an, daß die Scheiben nur auf einem möglichst kleinen Raum gefaßt werden, damit sie mit ihrer übrigen Fläche desto freier schwingen und vibriren können; deshalb findet sich bei *c* gerade unterhalb der Schraube *a* ein Holzklötzchen, dessen obere Fläche mit Leder bezogen ist, eben so ist die Spitze der Schraube *a* gleich dem vorderen Ende eines Billardqueues belebert.

Zwischen diese beiden Leder zwingt man nun die Scheibe, so daß sie ganz festgehalten wird und jetzt kann sie da oder dort, wo man es haben will, eingespannt und schwebend gehalten werden. Damit sie aber dem Bogen nicht schade, werden ihre Kanten mit einem Sandstein matt geschliffen, etwas das man selbst sehr leicht bewerkstelligen kann und wozu es gar nicht eines kostbaren Schleifsteins bedarf; wenn man sonst nichts Besseres hat, so thut ein guter neuer Ziegelstein die trefflichsten Dienste, nur muß man zum Schleifen immer Wasser zur Hand haben, trocken läßt sich das Schleifen nicht ausführen.

Den Bogen betreffend, so wird man wohl thun, wenn man einen Violoncellbogen nimmt, an Colophonium darf man es nicht fehlen lassen.

Ferner darf die Beschaffenheit des Sandes und die Oberfläche des Glases nicht vergessen werden. Man braucht sich nicht gerade parallel geschliffene Glasplatten aus Münchener optischen Werkstätten kommen zu lassen, wie Professor Strehlke, denn gutes Belgisches Fensterglas oder Nürnberger Spiegelglas, davon die Scheibe in der hier nöthigen Größe nicht 20 Thaler, sondern nur einen Silbergroschen kostet, thut ganz die nämlichen Dienste und giebt eben so schöne gerade Linien oder Hyperbeln, wie Herr Strehlke will, als jene Parallelgläser. Das ist aber unerläßlich, daß die Flächen des Glases vollkommen rein seien, daher muß man sie mit einem trocknen,

in Streifen zerschnittenen Tuchen abreiben und dann auch die letzte Spur von Staub mit einem anderen Tuche entfernen. Wie nachdem sie so gereinigt sind, darf man sie nicht mehr mit den Fingern berühren, wo ein Finger gefressen hat, ist ein Fettfleck, auf welchem der Sand haftet. Nach der Reinigung muß man die Platten so anfassen, wie ein Münzensammler seine Medaillen anfaßt, nämlich so, daß von dem Daumen und den zwei gegenüberstehenden Fingern nur die Kanten berührt werden.

Vorbereitung des Sandes.

Der Sand darf nicht fein und staubig sein, man muß allerdings feinen Sand nehmen, aber man muß ihn waschen, schlemmen, und dies vier bis sechs Mal wiederholen und das Wasser so oft von dem gewaschenen Sande abgießen, als es noch trübe oder milchig wird. Derjenige Sand, welcher sich nun sofort aus dem Wasser niedersetzt und von dem man das Wasser mit dem darin schwebenden Sande, welcher zu fein und zu staubartig ist, entfernen muß, wird auf dem Ofen getrocknet. Ihn bewahrt man in einer gewöhnlichen Sandbüchse auf, aus welcher man ihn dann in sehr geringer Menge auf die Glasscheibe streut und zwar recht gleichmäßig nach allen Seiten hin vertheilt.

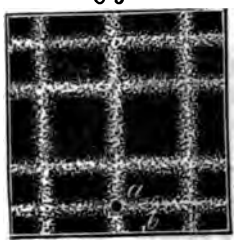
Einen sehr guten Sand giebt das sogenannte Smalteglas, ein blaues Glas, welches gestoßen, als blauer Streusand verkauft wird. So eckig und splitterig ist dieser Sand zwar nicht zu brauchen, allein wenn er in einem Porzellanmörser gerieben (nicht gestoßen) wird, so schleifen sich die eckigen gesplitterten und scharfen Stellen ab und man erhält eine Menge schöner blauer Klügelchen inmitten des Reibungsproductes des hellblau und fast weiß werdenden Staubes. Diese Glasklügelchen trennt man von dem Staube, welcher das Experiment stören würde, durch Schlemmen und Waschen und erhält hierdurch einen vortrefflichen, gar nicht mehr an dem Glase haftenden Sand. Derselbe bietet noch einen anderen Vortheil, den nämlich, daß man die Figuren sehr schön sichtbar machen kann durch untergelegtes weißes Papier und daß man sie selbst auf Papier fixiren kann. Auf leichte hölzerne Rahmen, etwas größer als die Glasscheibe, spannt man Papier und bestreicht dasselbe gleichmäßig mit einer Gummilauflösung. Wenn nun auf der Glastafel der Ton erregt ist und die ihm entsprechende Klangfigur sich gebildet hat, so legt man die Glastafel behutsam auf einen Tisch und drückt den mit Papier bespannten Rahmen darauf. Es haftet an dem Gummi sofort das blaue Glas und man

erhält die Zeichnung vollſtändig auf dem Papier abgedrückt. Man muß daſſelbe nunmehr im Rahmen trocknen laſſen, worauf es ganz gerade und geſpannt erſcheint. Dann ſchneidet man die Blätter etwas größer als die Figur heraus und bewahrt ſie zwiſchen feinem Fließpapier.

Die Glastafel muß gleich nach dem Abklatſchen gewaſchen werden, wenn der Gummi daran feſtgetrocknet, iſt er viel ſchwerer zu entfernen.

Zuſammengeſetzte geradlinige Figuren.

Fig. 28.



Außer den oben angeführten Figuren kann man, wie begreiflich, noch viele andere erzeugen, ſo wenn, wie immer vorausgeſetzt wird, man die Befeſtigung bei *a* anbringt und bei *b* ſtreicht, ein Gitter erſcheinen wird, welches ſich um ſo regelmäßiger geſtaltet, wenn man etwa noch eine Stelle dämpft, z. B. diejenige, welche mit *c* bezeichnet iſt.

Wenn die Tafel etwas länglich genommen und nun die beſtimmte Stelle gehalten und geſtrichen wird, ſo erſcheinen nach und nach die verſchiedenen gitterartigen Figuren, deren Linien ſich dadurch häufen, daß man die Knotenpunkte vermehrt. Würde man nämlich die Tafel in der Mitte halten, ſo entſtände nur ein Knotenpunkt und in Folge deſſen nur ein Kreuz, rückt man aber wie bei Fig. 29 oder Fig. 30 die Befeſtigungsſtelle an das eine Ende, ſo giebt dieſes Gelegenheit zu einem Doppelkreuz, denn die kreuzende Linie geht durch den Knotenpunkt und da die Figuren ſich immer ſymmetriſch bilden, ſo entſteht auf der anderen Hälfte der Tafel eine zweite kreuzende Linie.

Fig. 29.

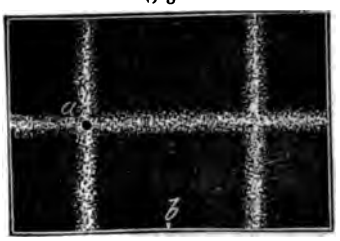


Fig. 30.

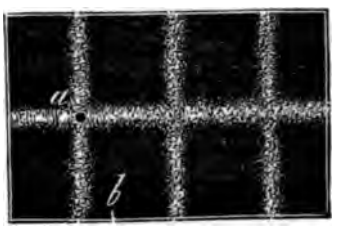


Fig. 31.

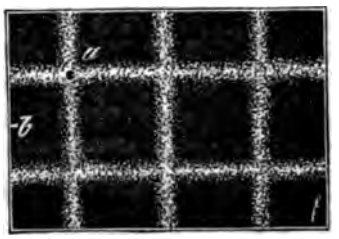


Fig. 32.

Wenn man dreieckige Glastafeln anwendet, ſo erhält man unter denſelben Bedingungen die hier angeführte Figur. Sollte dieſelbe nicht in der erforderlichen Schärfe hervortreten, ſo muß man die Stelle *a* ſo wie die von *b* ein wenig verändern, oft kommt es dabei auf $^1/_{12}$ Zoll an, ſo geringfügig iſt der Unterſchied, welcher das Gelingen oder Mißlingen bedingt.

Wählt man ſechsſeitige Scheiben zur Erzeugung der Klangfiguren, ſo wird man am leichteſten den ſechsſeitigen Stern erlangen, ſchwieriger iſt

Fig. 33.

Fig. 34.

ſchon ein einfaches Kreuz, weil bei Erzeugung deſſelben die eine Linie eine Diagonale wird, die andere aber von Seite zu Seite geht.

Mit Kreiſen iſt die Herſtellung beider Figuren gleich bequem, nur muß die Halteſtelle ſehr genau in der Mitte liegen. Geſetzt bei *a* wäre die

Fig. 35.

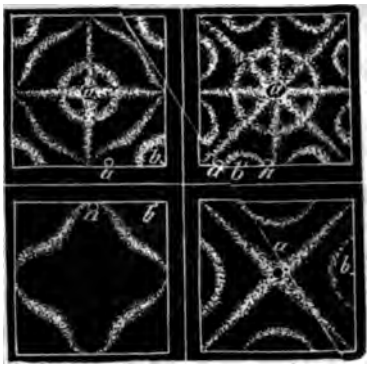
Fig. 36.

Scheibe von der Schraube gefaßt und zwiſchen den beiden Lederblättchen feſtgehalten, ſo braucht man nur irgendwo mit dem Finger die Scheibe zu berühren und dann bei *b* mit dem Violinbogen zu ſtreichen, man wird dann das Kreuz erhalten, wenn der Bogen um ein Achtel des Umfanges von dem berührenden Finger entfernt iſt und den Stern, wenn die Entfernung nur ein Zwölftheil beträgt.

Krummlinige Figuren.

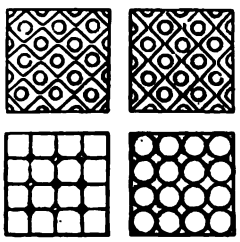
Wir haben bis jetzt lauter geradlinige Figuren betrachtet, allein die Erscheinung ist viel mannigfaltiger als es nach dem Bisherigen scheint, es lassen sich auf allen den gedachten Scheibenformen sehr mannigfaltige Figuren mit geraden und krummen oder mit lauter gekrümmten Linien hervorbringen.

Fig. 37.



Die hier stehenden Figuren geben uns dergleichen und sind dieselben noch ziemlich leicht zu erregen, doch muß man allerdings den Bogen gut führen können. Man streicht immer von oben nach unten, wobei man wohl darauf zu sehen hat, daß seine Lage ziemlich senkrecht gegen die Ebene der Tafel bleibt.

Fig. 38.



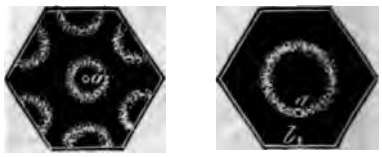
Die Zeichnungen, welche Fig. 38 giebt, fordern schon eine sehr große Uebung und große Tafeln, mit kleineren ist das Experiment gar nicht auszuführen. Die beiden ersten, scheinbar gleich, unterscheiden sich sehr deutlich dadurch, daß die Hauptlinien der einen Diagonalen sind, von Ecke zu Ecke gehen, indeß bei der andern keine der Ecken getroffen wird.

Von dreieckigen Tafeln (Fig. 39) lassen sich sehr leicht die auf der folgenden Seite angegebenen krummlinigen Figuren erzeugen. Mit sechseckigen Tafeln (Fig. 40) werden ohne Schwierigkeit die folgenden gebildet, von denen die eine aus einem einfachen Kreise und die andere aus einem kleineren Kreise und sechs Halbkreisen besteht; wie man sie fassen und streichen muß, zeigen die Buchstaben.

Die kreisförmigen Tafeln (Fig. 41 und 42) geben zwei sehr einfache Figuren, welche unten (Fig. 41) gezeichnet sind, aber in desto größerer

Fig. 39.

Fig. 40.



Menge höchst complicirte, von denen wir nur einige geben wollen (Fig. 42). Um sie zu erzeugen, braucht man schon Platten von wenigstens 1 Fuß Durchmesser, Chladni hat deren von 3 Fuß angewendet.

Fig. 41.

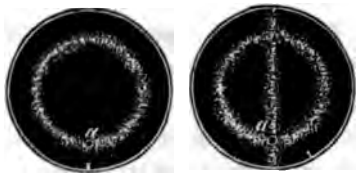
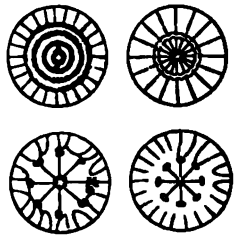
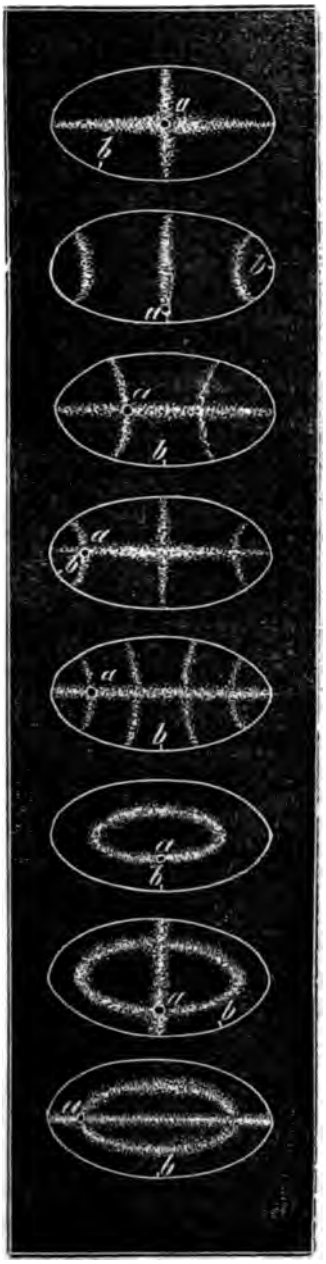


Fig. 42.



Die Form der Klangfiguren ovaler Scheiben (Fig. 43) sind den einfacheren der Kreisscheiben ganz analog und man kann, wenn man eine gewisse Aufmerksamkeit auf ihre Gestaltung gewendet hat, sich selbst vorher sagen, wie die Figuren aussehen werden. Faßt man die Scheibe in ihrer Axe, so wird jederzeit ein gerader Strich durch die Länge der Tafel hindurch gehen, man möge streichen, wo man wolle; faßt man sie in der Nähe des Randes von einer der längeren Seiten, so wird man beim Streichen auf

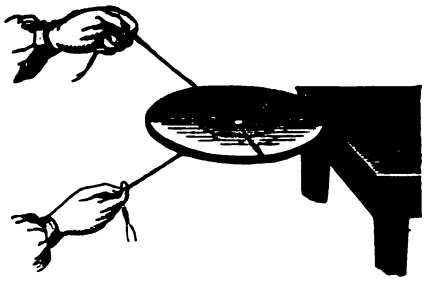
Fig. 43.



der längeren Seite ſtets ein Oval als Figur bekommen, ſtreicht man dagegen an der Wölbung der kurzen Seite, ſo müſſen Querlinien entſtehen, ähnlich denen auf länglichen Tafeln, wie z. B. Fig. 29 eine ſolche zeigt, die ganz ähnlich der vierten von Fig. 43 iſt.

Man kann auch eine Tafel durch eine Oeffnung in der Mitte ſtreichen, wie die Fig. 44 zeigt, die Hände halten ſtatt eines

Fig. 44.



Bogens ein Büſchel Pferdehaare, welche wohl geſtrichen und durch die Oeffnung gezogen ſind. Die Fig. 44 giebt zugleich die Befeſtigungsart und die Klangfigur, welche man erhält.

Die Vibrationen ſind übrigens gar nicht geringfügig, wegen der Stärke derſelben könnte man ſtatt der Sandkörnchen Schrotkugeln und ſogar Rehpoſten nehmen. Wenn man einen ſolchen auf eine Klangſcheibe legt und nun dieſe Scheibe ſtreicht, ſo hört man plötzlich ein knatterndes Geräuſch und das Kügelchen fliegt ein paar Mal ſichtlich in die Höhe, bis es herunter fällt. Iſt der Sand, welchen man zur Bildung der Figuren braucht, grobkörnig, ſo ſieht man ihn ſehr deutlich 3—4 Zoll hohe Sprünge machen, bevor er auf den Knotenlinien zur Ruhe kommt.

Mittönen anderer Körper.

Die Luft in der Nähe der klingenden Scheiben wird dergestalt in Vibration gesetzt, daß gespannte Membrane diese Erschütterungen annehmen und man dadurch wieder Klangfiguren secundärer Art erzeugen kann.

Die bekannteste Erscheinung dieser Art ist, daß Fensterscheiben erzittern, nicht wenn der Schall des Donners oder ferner Kanonenschüsse sie trifft, sondern wenn der Ton einer Orgelpfeife, einer Trompete oder Posaune sie erschüttert, es ist immer nur ein bestimmter Ton, bei welchem dieses eintritt und dies ist dann immer derjenige, welchen die Scheibe selbst geben würde, wenn sie zum Tönen angeregt wird, denn jeder elastische Körper kann zum Tönen gebracht werden, die Luft eines jeden Zimmers ist dazu geeignet. Man wird häufig bemerkt haben, daß beim Scalasingen die Wände einen Wiederhall geben, der mit dem gesungenen Ton im Einklange steht, dies kommt nur daher, daß der kubische Luftraum, den die Zimmerwände umfangen, einen gewissen, aber auch nur diesen einen Ton hat (wie jede Orgelpfeife), welcher mit anspricht, sobald derselbe irgendwie laut und kräftig angeschlagen wird.

Dieses Mittönen des Zimmers, noch mehr das Mittönen einer einzelnen Fensterscheibe leitet auf die Frage, ob hier gleichfalls ein solches Vibriren stattfindet, wie bei den durch Streichen angeregten Scheiben und man muß diese Frage bejahen. Die Vibrationen können noch überdies so stark werden, daß besonders große Scheiben davon springen. Von dem berühmten Bassisten Fischer erzählt man, daß er öfter sich den Spaß gemacht habe, Glasscheiben entzwei zu singen. Er mußte, um dies zu vermögen, natürlich vor allen Dingen eine Scheibe aufsuchen, welche in ihren Fugen möglichst locker saß, dann mußte er in einer angemessenen Entfernung ihr gegenüber so lange Ton auf Ton folgen lassen, bis die Scheibe mitklang. Nun erst konnte das Experiment beginnen, hatte er Lunge und Kraft genug, um den Ton so lange auszuhalten, bis die Scheibe kräftig mittönte, so war nur noch eine geringe Steigerung nöthig und die Scheibe sprang entzwei.

Secundäre Klangfiguren.

Was hier auf eine nicht jederzeit anwendbare Weise gemacht wurde, das läßt sich durch Papierscheiben, die man auf Rahmen spannt, sehr leicht und immer darstellen. Mit Papier von verschiedener Stärke, welches ganz benetzt wird, spannt man auf Holzrahmen zu jeder Größe Blätter auf.

welche man mehr oder minder anzieht, so daß dieselben erstens beim Trocknen wieder alle ganz glatt sind, zweitens bei leiser Berührung mit trommelnden Fingern verschiedene Töne geben; zu straff darf man die nassen Bogen nicht anziehen, weil sie sonst beim Trocknen zerreißen.

Hält man solch einen bespannten Rahmen über eine schwingende Tafel, so tönt sie mit, d. h. der ursprüngliche Ton der schwingenden Tafel wird verstärkt. In diesem Falle erhält man auf dieselbe Weise wie bei Glastafeln Klangfiguren, nur sind sie anderer Zeichnung.

Es ist aber zu bemerken, daß die durch den Bogen erregten Scheiben nicht von Glas sein dürfen, sondern von Messing. Man nimmt dazu sehr starkes Blech von etwa $\frac{1}{12}$ Zoll Dicke und läßt dieses gleichmäßig vom Klempner durchhämmern, so daß es eine durchweg homogene Spannung hat. Besser ist es allerdings, wenn statt des Hammers die Walze die Streckung bewerkstelligt; das Blech ist zwar überhaupt durch die Walze zu Blech geworden, allein das verkäufliche ist gebogen, gefaltet und muß erst wieder in eine vollkommen ebene Richtung gebracht werden; dies geschieht am leichtesten, wenn man ihm die nöthige Form giebt und es alsdann nach zwei verschiedenen Richtungen durch ein breites Walzwerk gehen läßt. Wie gesagt, thut indessen der Hammer eines geschickten Klempners auch die nöthigen Dienste. Nach dem Hämmern oder Walzen muß die Feile nochmals angewendet werden, um die Ränder zu glätten; mit der Scheere darf man nicht mehr darüber kommen, weil diese wieder Verbiegungen herbeiführt.

Eine so behandelte quadratische Platte von etwa 8 Zoll Seite wird in dem Kreuzungspunkte der beiden Diagonalen durchbohrt und hier auf einen Stift festgeschraubt. Damit sie nicht am freien Schwingen gehindert wird, hat sie eine Unterlage von Leder und auch oben, wo die Mutterschraube zur Befestigung derselben auf den Stift gesetzt wird, liegt ein Lederscheibchen. Der Stift mit der Scheibe wird natürlich durch einen ziemlich schweren hölzernen Fuß getragen, auch kann man denselben auf eine Schraubzwinge setzen und mittelst derselben am Tischrande befestigen. Dies ist beinahe noch zweckmäßiger.

Solche Scheiben geben sämmtlich Klangfiguren, wie dieselben für Glasscheiben beschrieben sind und unterscheiden sich von ihnen nur durch die Höhe des Tones.

Wenn man nun mittelst des Bogens die Scheibe zum Tönen gebracht hat und hält jetzt den mit Papier bespannten Rahmen darüber, nachdem derselbe mit blauem Sande bestreut worden ist, so hört man schon aus der Entfernung von 8 Zoll von der Tafel den Sand rauschen und man sieht ihn auch bald springen; dabei ist durchaus nicht erforderlich, daß auf der ge-

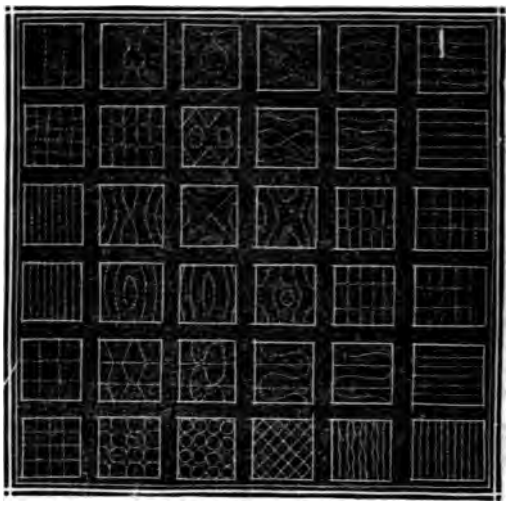
ſtrichenen Metallſcheibe gleichfalls Sand liege, es handelt ſich ja nicht um Uebertragung der Tonfiguren, ſondern um Uebertragung der Vibrationen.

Wenn man ſich nun während des Tönens der Scheibe derſelben mit dem beſpannten Rahmen unter fortwährendem Parallelismus beider Flächen nähert, ſo wird, während aller Sand im Springen begriffen iſt, derſelbe wie von unſichtbaren Händen von den meiſten Stellen hinweggekehrt und man erhält eine meiſtens nicht ganz regelmäßige Figur, gezeichnet von dem Sande, der von der leer gewordenen Stelle hinweggekehrt worden iſt.

Nähert man ſich von da, wo man die erſte Figur erhielt, der tönenden Scheibe noch mehr, ſo verwirrt ſich die gewonnene Figur wieder und in einer gewiſſen Entfernung entſteht eine andere, welche mit der vorigen gar keine Aehnlichkeit hat. Man kann dies nochmals wiederholen und wird wieder eine neue Figur bekommen.

Der franzöſiſche Gelehrte Savart, welcher ſich um die Lehre vom Klang und Schall ſehr verdient gemacht hat, giebt ſogar ſechs verſchiedene Veränderungen an, welche dieſelbe mitklingende Papierſcheibe von einem und dem nämlichen Ton einer meſſingnen Tafel erhält. Die hier angegebene Figur, aus Pouillet's ſchönem Werke entlehnt, giebt in jeder der

Fig. 45.



ſechs horizontalen Reihen diejenigen Figuren, welche der Sand auf einer Papierſcheibe erhält, wenn unten eine Meſſingſcheibe zum Tönen gebracht wird. Sie ſämmtlich herzuſtellen, iſt allerdings nur wenigen Phyſikern gelungen, allein es mag denn doch wohl möglich und nur große Geſchicklichkeit in der Kunſt des Experimentirens erforderlich ſein.

Eins vor Allem, wie der Verfaſſer ſchon bemerkt hat, iſt nöthig, daß die Meſſingſcheibe im Tönen erhalten werde, daß ihre Excurſionen immer recht groß ſind, dann fängt die Wirkung auf die Papierſcheibe ſchon aus ziemlicher Entfernung an. Der Verfaſſer hat dies dadurch bewerkſtelligt, daß er einen Gehülfen die Scheibe immerfort ſtreichen, alſo immer in ſtarker Vibration erhalten ließ, hierdurch war es ihm ſelbſt möglich, den Papierbogen ſehr gerade über der Platte zu halten und da er nicht nöthig hatte, bei jedem neuen Strich den Papierrahmen aus der Hand zu legen, konnte er die Bildung der Sandfiguren mit viel mehr Muße und Ruhe verfolgen.

Interferenzerſcheinungen.

Alle die Klangfiguren entſtehen dadurch, daß eine große Anzahl von Stellen der Scheibe in einer gleichmäßig ſchwingenden Bewegung ſind, indeß die Linien, welche zwiſchen dieſen Stellen liegen, ſich in völliger Ruhe befinden. Auf dieſen Ruhelinien ſammelt ſich der Sand an. Man kann nun die Geſetze dieſer Bewegungen verfolgen und man erhält dadurch einen ſehr vollſtändigen Aufſchluß über den ganzen Vorgang.

Wir wollen hierzu die einfachſte Figur wählen, weil ſich von dieſer das Ganze am leichteſten demonſtriren läßt.

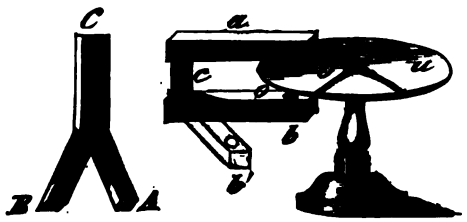
Fig. 46.

Wenn man die Glas- oder Metalltafel in der Mitte feſthält und bei *b* mit einem Bogen ſtreicht, ſo erhält man das Diagonalkreuz. Hierbei ſchwingen das Viertel der Scheibe *b* und das ihr gegenüberliegende gleichzeitig auf und ab. Die beiden andern Viertel, dasjenige, woran der Buchſtabe *a* ſteht und das demſelben gegenüberliegende, ſchwingen auch gleichzeitig auf und ab, allein in dem Augenblick, in welchem *b* abwärts geht, in demſelben ſteigt *a* aufwärts, und in demſelben Augenblick, in welchem umgekehrt *b* mit ſeinem Gegenüber ſich aufwärts hebt, ſteigt auch *a* mit ſeinem Gegenüber abwärts. Die Zahl der Schwingungen iſt bei allen vier Abtheilungen der Scheibe ganz gleich und zwei ſich gegenüberſtehende machen ſie auch ganz in demſelben Sinne, allein die beiden andern Viertel ſchwingen alsdann abwärts, wenn die erſten aufwärts ſteigen.

Wheatſtone's Inſtrument.

Sehr ſchön läßt ſich dieſe Gleichheit oder Ungleichheit der Schwingungen hörbar machen (aber auch ſichtbar, wie wir ſogleich ſehen werden). Wheatſtone wendet hierzu folgende Veranſtaltung an:

Fig. 47.



Man ſieht eine runde Metallſcheibe (oder Glasſcheibe) auf einem Fuße vermittelſt der Durchbohrung befeſtigt und angeſchraubt, wie oben beſchrieben worden.

Daneben iſt ein Inſtrument, welches man beinahe für eine Schraubzwinge ohne die dazu gehörige Schraubenſpindel anſehen möchte, was es jedoch nicht iſt. *a* und *b* ſind zwei viereckige Röhren, aus ſehr dünnem Holz gebildet, ſie haben an ihren Enden Oeffnungen, deren eine man bei *b* ſieht und deren andere bei *o* gegen die Glasſcheibe gekehrt iſt. An dem Ende *c* der beiden viereckigen Röhren ſind gleichfalls Oeffnungen von gleicher Größe, durch dieſe aber ſind die beiden hohlen Stücke mittelſt eines Cylinders verbunden, der gleichfalls hohl iſt und entweder in dem einen viereckigen Stücke feſt, im anderen beweglich ſitzt, oder der, wie die Figur es angiebt, in der Mitte getheilt und über einander zu verſchieben iſt, wie die Auszüge eines Fernrohrs. Dies Letztere iſt die zweckmäßigere Art der Verfertigung; es kann ſich übrigens ein Jeder ganz leicht ſolch ein Inſtrument aus den Brettchen einer Cigarrenkiſte machen, das Rohr, welches beide vereinigt, wird aus Papier zuſammengeleimt; bei dem ganzen Dinge kommt es nur darauf an, daß es eine ſolche Geſammtlänge habe, daß es den Ton der Scheibe angiebt, wenn es angeblaſen wird. Man muß dieſe Länge deshalb vorher beſtimmen, indem man eine Orgelpfeife aufſucht, welche den nämlichen Ton angiebt, oder indem man eine cylindriſche Röhre, welche nach Art eines Fernrohrauszuges zuſammengeſetzt iſt, über die tönende Scheibe hält und die einzelnen Theile des Rohres ſo lange verſchiebt, bis der Ton der Scheibe ſich plötzlich gewaltig verſtärkt. Dies iſt ein Zeichen, daß man nun die richtige Länge habe. Dieſes Rohr, nach Art einer Orgelpfeife angeblaſen, würde genau den Ton der Scheibe angeben, die Verſtärkung des Klanges rührt lediglich daher, daß das Rohr mitklingt, daß durch die Vi-

bration der Scheibe die in dem Rohre enthaltene Luftsäule in consonirende Schwingungen geräth.

Man macht nun die beiden viereckigen Stücke etwas weniger als halb so lang wie das Rohr und ergänzt nachher das an der Länge Fehlende durch das zwischengesetzte verschiebbare Stück *c*.

Vorgang bei der Interferenz.

Die Vibrationen der Scheiben gehen auf und ab, hält man das Rohr ganz ausgestreckt oder in der Lage *acb'* über einen der schwingenden Theile (nicht über eine Knotenlinie), so wird man den Ton mächtig verstärkt hören, biegt man aber die beiden Schenkel der luftigen Schraubzwinge, so wie die ausgezogene Fügung *acb* zeigt, dergestalt, daß die Oeffnung *o* unterhalb der Scheibe nach oben gekehrt, die Oeffnung *o'* aber oberhalb desselben Theiles der schwingenden Scheibe nach unten gekehrt ist, so daß also die beiden Oeffnungen einander gegenüberstehen, so wird jede Spur von Verstärkung verschwinden. Da nämlich die Luftsäule *acb* zugleich von entgegengesetzten Seiten Stöße enthält, welche sich aufheben, so bleibt die Luftsäule, welche vibriren soll, in Ruhe und kann folglich nicht tönen. In dem Augenblick, in welchem durch Erhebung der Abtheilung *c* die Luftsäule in *acb* zusammengedrückt und von *a* nach *c* geschickt wird, in demselben Augenblick wird die andere Hälfte durch dasselbe Aufwärtsgehen des Stückes *v* verdünnt, nun schwingt der Antheil *v* der Tafel abwärts, dadurch wird die Luft in *bc* verdichtet, aber durch eben dieses Abwärtsschwingen wird sie in dem Antheil der Röhre *ac* verdünnt. *acb* ist aber eine offene Pfeife, in derselben ist der Schwingungsknoten in der Mitte, die Lufttheilchen von beiden Seiten des Knotens müssen im entgegengesetzten Sinne schwingen.

Dreht man jedoch die beiden Arme des Apparates durch die bewegliche Röhre *c*, so daß der eine Arm über *v*, der andere unter dem benachbarten Dreieck *v'* steht, so wird alsbald die Röhre ansprechen und der Ton der klingenden Scheibe wird um das Dreifache verstärkt erscheinen.

Der Vorgang hierbei ist natürlich folgender: während *v* aufwärts steigt, geht *v'* abwärts, die eine Oeffnung der Röhre *acb* steht über *v*, daher wird beim Aufwärtssteigen die Luft in die Theile *ac* verdichtet, die andere Abtheilung *bc* steht mit ihrer Oeffnung *o* unter *v'*, in demselben Augenblick, da die aufwärts gehende Schwingung von *v* die Stelle *v'* abwärts führt, daher wird in demselben Augenblick, in welchem die Luft in *ac* verdichtet wird, sie auch in *bc* verdichtet werden. Diesen gleichzeitigen Verdichtungen und den beiden Abtheilungen von *acb* folgen eben so g

zeitig Verdünnungen, wenn sich die Schwingungen von v und v' umkehren, und da dieses nunmehr mit der zum Tönen der offenen Röhre erforderlichen Geschwindigkeit geschieht, so entsteht alsbald in der Mitte derselben ein Schwingungsknoten und die Röhre giebt den Ton der Scheibe an.

Einfachere Darstellung der Interferenz.

Der Apparat ist sehr sinnreich erdacht, allein es muß für jede klingende Scheibe ein besonderer gefertigt werden, weil er nur bei derjenigen Scheibe anspricht, bei welcher sein Ton dem Ton der Scheibe gleich ist. Daher ist der zweite Apparat der Fig. 47, der das Vibriren der Antheile der Scheibe zwar nicht hörbar, aber wohl sichtbar macht, jenem ersten vorzuziehen.

Auf eben so einfache Art, wie jene aus den dünnen Brettchen einer Cigarrenkiste, ja selbst aus dünner fester Pappe, setzt man sich einen hohlen Stiefelknecht (einem solchen ist das Instrument in Form sehr ähnlich) zusammen: ein Rohr C, welches sich unten in zwei Abtheilungen A und B spaltet. Das Rohr ist an den drei Mündungen offen, die obere C aber wird mit einem Goldschlägerhäutchen überspannt, Papier ist gewöhnlich nicht zart genug und kann auch nicht so ganz leicht glatt gemacht werden, wie dies mit den äußerst feinen Goldschlägerhäutchen durch nasses Aufziehen derselben möglich ist.

Wenn man diesen Stiefelknecht über eine tönende Scheibe so hält, daß die beiden neben einander liegenden Dreiecke v und v' unter den beiden Enden A und B stehen, und man hat auf das Goldschlägerhäutchen, welches über die Oeffnung C gespannt ist, ein wenig Sand gestreut, so bleibt dieser ruhig liegen, auch während die Scheibe unter dem Bogenstrich auf das Kräftigste tönt.

Wenn man aber die beiden Schenkel der Röhre so hält, daß sie über zwei sich gegenüber liegenden Dreiecken schweben, also A über u und B über v, so darf die Scheibe nur im Geringsten angestrichen, zum Tönen gebracht werden, und augenblicklich wird man den Sand auf dem gespannten Häutchen springen sehen. Es wird dabei allerdings keine Klangfigur entstehen, weil die Röhre nicht mitklingt (eine Figur aber würde entstehen, wenn man sie sorgfältig mit irgend einer seiner Klangscheiben übereinstimmend gemacht hätte), das Vibriren des Sandes aber, ohne daß eine Figur entsteht, beweist allein zur Genüge, daß im ersten Falle keine Schwingungen in der Luftsäule erregt wurden, während dies im letzten Falle geschah. Es ist dies ganz ähnlich dem vorhin beschriebenen Experiment. Da die beiden Abtheilungen der Röhre über der klingenden Scheibe stehen (nicht eine darüber

und die andere darunter), so sind die auf- und absteigenden nicht bei einem und demselben oder bei zwei einander gegenüber liegenden Dreiecken zu suchen, sondern bei zwei neben einander liegenden. Wenn nun r aufwärts schwingt, indessen r' abwärts schwingt, und B nimmt die Bewegung des ersten, A die des andern Theiles an, so sieht ein Jeder leicht ein, daß aus zwei gleich großen, aber in entgegengesetztem Sinne ausgeführten Bewegungen keine Bewegung hervorgeht, die Luftsäule in dem Stiefelknecht, auf solche entgegengesetzte Weise angeregt, also in Ruhe bleiben muß, während im andern Falle beide Bewegungen einander verstärken.

Entgegengesetzte Wellen.

In diesem wie in dem vorhin angeführten Falle des Nichttönens der Doppelröhre sehen wir aus zwei Wirkungen, die gleichzeitig, aber im entgegengesetzten Sinne vor sich gehen, keine Wirkung entstehen. Es ist diese Erscheinung durchaus nicht alleinstehend bei dem Schalle, sie ist vorwaltend bei allen Wellenbewegungen und hat den Namen Interferenz erhalten.

Wenn zwei Wellen genau von gleicher Länge und gleicher Höhe auf einander folgen, so laufen sie ununterbrochen hinter einander fort. Wenn man ein Seil aus einer großen Höhe — von der Spitze eines Mastes, von der Gallerie eines Thurmes — herabhängend hat und man giebt, am unteren Ende stehend, dem Seile einen Schwung, so bekommt es eine Ausbiegung nach der Seite hin, wohin der Stoß gegangen ist und man sieht diese Biegung als Welle bis zu dem oberen Befestigungspunkte laufen.

Wenn man bei dem in Ruhe hängenden Seile diese Wellenbewegung zweimal hinter einander macht, so erhält man zwei Wellen; wenn man in gleichen Zeiten drei oder mehr Wellen macht, so erhält man drei oder mehr an dem Seile hinauflaufende Wellen, welche sich regelmäßig folgen und nicht stören, vorausgesetzt daß die Zeiten der erhaltenen Stöße gleich gewesen sind.

Hat man drei solche Rucke hinter einander gegeben und man läßt nun ein Paar derselben recht schnell nach einander auf die ersteren folgen, so holen die letzteren gewöhnlich die ersteren ein (vorausgesetzt daß die Länge des hängenden Seiles groß genug ist) und dann wird man sehen, daß, sobald dies geschieht, die Wellen der ersteren Schwingungen durch die nachkommenden letzteren plötzlich um ein Bedeutendes verstärkt, daß sie auf das Doppelte gehoben werden, hier verstärkt eine Welle die andere und so, sollte man glauben, müßte es immer sein.

Kehren wir zurück zu der ersten einfachsten Erscheinung, lassen wir eine einzige Welle an dem Seil hinauflaufen und verfolgen wir sie mit aufmerksamem Auge, so werden wir wahrnehmen, daß, sobald sie oben an dem Befestigungspunkte des Seiles angekommen ist, sie umkehrt und das Seil wieder hinabläuft.

Dies ist nicht Alles, was wir sehen: Wenn bei dem Hinauflaufen die Wellenerhöhung auf der rechten Seite war, so werden wir bei dem Hinablaufen dieselbe Biegung auf der linken Seite sehen. Die abwärtsgehenden Wellen haben also eine den aufwärtsgehenden entgegengesetzte Richtung. Setzt man die Schwingungen des Seiles fort, so wird man Anfangs lauter rechts gekehrte Wellen hinauf-, dann aber, indem solche Wellen hinauflaufen, gleichzeitig ganz eben solche, aber verkehrte, hinablaufen sehen.

Es wird nun entweder der Fall eintreten, daß hierdurch die Stärke, die Höhe und Ausschreitung der Wellen verdoppelt erscheint, und dies wird geschehen, sobald die rückschreitenden Wellen von den vorschreitenden regelmäßig um eine ganze Wellenlänge verschieden sind; es kann aber auch der Fall eintreten, daß sie nur um eine halbe Wellenlänge von jenen hinauflaufenden verschieden sind und dann wird man, so lange dies dauert, das Seil zwar im Ganzen schwanken, keineswegs aber Wellen schlagen sehen, weil durch dies nach entgegengesetzter Richtung gehende Ausbiegen die beiden Wellen, die nach rechts aufsteigenden und die nach links absteigenden sich aufheben. Wäre dies vollkommen der Fall, vermöchte man die Abtheilungen der Wellen alle ganz gleichzeitig zu machen und gleichzeitig auf einander folgen zu lassen, so würde aus dem unter zwei gleichen, aber entgegengesetzten Einflüssen schwankenden Seile ein in gerader Linie herabhängendes, gar nicht schwankendes werden.

Interferenz der Wasserwellen.

Dieselbe Erscheinung wird man bei Wasserwellen wahrnehmen. Schon wenn man an zwei verschiedenen Punkten Steine in eine glatte Wasserfläche wirft und die äußersten Kreise beobachtet, wie sie immer weiter und flacher, niedriger werden, nun aber, indem die beiden äußersten Kreise sich berühren, plötzlich sich zur doppelten Höhe steigern, dann aber, indem ein Wellenthal durch einen Wellenberg schreitet, sich ausgleichen, sieht man den Vorgang sehr deutlich; allein man muß wenigstens mit den Erscheinungen vertraut sein und muß wissen, was man sehen wird. Ganz klar aber und auch dem Unbefangensten, im Beobachten nicht eigentlich Geübten, wird die ganze Reihenfolge der Erscheinungen bei einer Rinne mit Wasser werden,

wie ſie für Waſſermühlen häufig gebraucht werden, und woſelbſt man, ſo lange die Waſſermaſſe in der Rinne nicht fließt, ſondern ſteht, das Experiment ſehr anſchaulich machen kann.

Man befindet ſich 20 Schritte weit von der Schütze entfernt und erregt daſelbſt eine breite, die Rinne ausfüllende Welle, im nämlichen Augenblick thut ein Gehülfe daſſelbe an der Schütze, ſo daß die beiden Wellen einander entgegen laufen. Sobald die erſten Wellenberge ſich treffen, ſteigern ſie ſich gegenſeitig zur doppelten Höhe, dies kann ſo ſtark ſein, daß in dem Augenblick, wo die beiden Gipfel durch einander hindurch laufen, der oberſte Punkt derſelben ſcharf in die Höhe tritt, ſo daß man das Waſſer aufſpritzen ſieht.

Gleich darauf ſinkt der Berg zuſammen, weil ſeine Theile rechts und links weiter ſchreiten. Dort aber treffen ſie auf ihre gegenſeitigen Wellenthäler, und da, wo dies geſchieht, ſieht man eine ebene Fläche ſich bilden, aber wo früher der Wellenberg von doppelter Höhe ſtand, da treffen nun gleichzeitig zwei Wellenthäler zuſammen und an dieſer Stelle ſieht man jetzt, wenn die Rinne nicht mehrere Fuß tief iſt, plötzlich für ein paar Augenblicke den Boden der Rinne hervortreten, weil durch die Verdoppelung der Wellentiefe das Waſſer wie weggefegt iſt.

Es treten natürlich alsbald an beiden Seiten die Wellen wieder hinzu, das Waſſer ſteigt ſichtlich, bis ein Wellenthal und ein Wellenberg einander neutraliſiren und gleich darauf wieder zwei Wellenberge ſich gegenſeitig verdoppeln.

Nicht dieſe Extreme, die Verdoppelung der Wellenberge oder Wellenthäler ſind es, welche man Interferenzen nennt, ſondern es ſind gerade und ausſchließlich diejenigen, welche zwiſchen den beiden äußerſten Grenzen liegen, wo zwei gleich große, aber nach entgegengeſetzten Richtungen gehende Bewegungen Ruhe erzeugen.

Verſtärkung des Tones.

Es laſſen ſich dieſe Interferenzen beim Schalle noch auf verſchiedene Arten wahrnehmbar machen, *nachweiſen*, da man nicht *hörbar* machen ſagen kann, weil man ſie gerade *nicht* hört.

Zu allen dieſen Verſuchen bedarf man eines Rohres aus Papier, über eine Holzrolle geklebt, von mäßiger Stärke (zwiſchen 2 und 3 Zoll Durchmeſſer) und von veränderlicher Länge. Dieſe wird dadurch ſehr

leicht erlangt, daß man sich die Röhren über einander verschiebbar darstellt, so daß sie wie der Tubus eines Fernrohres verlängert und verkürzt werden könne.

Mit solchem Rohr kann man die Töne einer Chladni'schen Klangscheibe sehr verstärken, indem man dasselbe so lange auszieht oder verkürzt, bis es den Ton der Scheibe angiebt, worauf durch die Consonanz, durch das Mitklingen der Röhre der Ton so mächtig anschwillt, daß nicht mehr verkannt werden kann, ob man das rechte Maß der Länge getroffen hat.

Fig. 48.

Wenn man nun während des Schwingens der Scheibe die Röhre über das Dreieck *b* der Tafel hält, so wird der Ton sich um ein Bedeutendes verstärken; ganz dasselbe wird stattfinden, wenn man die Röhre über irgend ein anderes Dreieck oder unter ein solches hält, so daß eine der Mündungen gerade senkrecht über der Mitte desselben steht.

Wenn man jedoch das Rohr so hält, daß es über einem der Striche befindlich, so wird man nichts hören, es klingt zwar die Scheibe noch hörbar fort, allein die Verstärkung durch die Röhre fehlt, tritt aber ein in dem Augenblick, da man die Mündung der Röhre von dem Theilungsstriche zwischen den beiden Dreiecken hinweg, und über eine der schwingenden Flächen führt. Geschieht dies, während man die Tafel zum kräftigen Tönen gebracht hat, in einem Zuge, so daß man über die Tafel in einem möglichst weiten Umkreise mit der Mündung der Röhre hinwegfährt, nahe genug, um ihre Luftschwingungen aufzunehmen, nicht so nahe, daß man sie berührt und dadurch ihre Schwingungen hemmt, so wird man den Ton viermal bei jedem Umzuge sich erheben hören und wird, so wie die Röhre über eine der Knotenlinien hinweggleitet, wahrnehmen, daß er verschwindet.

Interferenz bei einer Stimmgabel.

Auch durch eine Stimmgabel sind die Interferenzen sehr leicht wahrnehmbar zu machen. Eine Stimmgabel, ein Jedermann bekanntes Hülfswerkzeug für die musikalische Stimmung der Saiteninstrumente, giebt einen sehr schwachen, kaum hörbaren Ton, wenn man dieselbe bei dem Fuße faßt und gegen einen Widerstand leistenden Körper schlägt (man nimmt dazu nicht gern Holz, weil davon ein Klirren des Stahles entsteht, welches den Ton bedeutend beeinträchtigt, man schlägt gewöhnlich auf den etwas empor ge-

hobenen und gespannten Schenkel oder auf die straff gestreckte Muskulatur der hohlen Hand).

Wenn man aber die so angeschlagene Stimmgabel in die Nähe des Ohres hält, so wird der Ton sehr laut und vernehmbar. Wer nun dies zu beobachten gelernt hat, der wird finden, daß dieselbe Stimmgabel einmal einen schwachen, ein andermal einen viel stärkeren Ton angiebt. An manchen Leuten geht allerdings dergleichen spurlos vorüber, der Aufmerksame aber fragt sich nach der Ursache und er wird finden, daß in der Art, wie er die Stimmgabel hält, die Ursache der Verstärkung oder Schwächung des Tones zu finden sei. Hält er dieselbe so, daß gerade die Oeffnung der Gabel dem Ohre gegenüber ist, oder so, daß die volle Fläche einer Gabelzinke vor der Ohröffnung steht, dann ist der Ton, den die Stimmgabel giebt, am stärksten.

Faßt man die Stimmgabel bei dem Stift, welcher die beiden Zinken derselben vereinigt, und hält man sie, nachdem sie angeschlagen worden, an das Ohr in einer der angegebenen Lagen, dreht man sie ferner nunmehr langsam zwischen den Fingern, so daß man aus einer der Lagen in die andere übergeht, also daß aus der Stellung || O, im Laufe einer Secunde die Stellung = O wird (hier bedeuten die beiden Striche die Stellung der Zinken gegen das Ohr O), so hat die Stimmgabel einen Viertelskreis durchlaufen und hierbei wird man an eine Stellung gekommen sein, welche genau zwischen den beiden parallelen Stellungen der Schenkel liegt, wobei also die Stimmgabel keine einfache, auch keine Doppelfläche, sondern eine ihrer scharfen Kanten gegen das Ohr richtet.

Genau in dieser Stellung der Gabel wird auch das schärfste Ohr keinen Ton hören, während von dieser Stellung aus, ob man die Gabel rechts oder links dreht, der Ton hörbar zu werden beginnt und immer mehr steigt, bis er am stärksten ist in einer der beiden Stellungen, welche oben angedeutet wurden.

Dreht man, nachdem man sich das Experiment verständlich gemacht hat, die Gabel tönend vor dem Ohre ununterbrochen fort, so erhält man viermal bei jeder Umdrehung ein Anschwellen des Tones bis zur größten Stärke und eben so oft ein Herabsinken desselben bis zum völligen Verschwinden.

Interferenzen bemerkbar für Viele.

Das hier angegebene Mittel, diese Interferenzstellen aufzusuchen, dient nur für einen einzelnen Menschen, der das Experiment an sich macht, man

ist jedoch auch im Stande, dasselbe vielen Leuten zugleich wahrnehmbar zu machen, dies geschieht durch eine mitklingende Röhre.

Entweder man schiebt die oben beschriebene Röhre von Pappe so weit zusammen, bis sie mitklingt, oder (wenn dies nicht gehen sollte, weil sie nicht für so geringe Längen wie der hohe Ton einer Stimmgabel erfordert, eingerichtet ist) man nimmt ein schlankes Bierglas, eine Medicinflasche zu Hülfe. Eine solche kann sehr leicht durch Wasser abgestimmt werden. Man schlägt die Stimmgabel an, um ihren Ton kennen zu lernen, dann bläst man die Flasche an, d. h. man bläst über die Mündung hinweg, als ob man auf einem Schlüssel bläst. Ist der Ton zu tief, so ist die Flasche brauchbar, ist derselbe höher als der Ton der Stimmgabel, so kann man die Flasche zu dieser Stimmgabel nicht verwenden.

Die Höhe eines Tones einer Orgelpfeife hängt von ihrer Länge ab. Auch die Medicinflasche, auch das Bierglas kann solch eine Orgelpfeife werden, wenn man sie richtig behandelt und anbläst, auch solche Flasche kann man stimmen, wie man eine Orgelpfeife stimmte, wenn sie höher tönen soll, man verkürzt sie. In die Orgelpfeife treibt man einen Stöpsel, in die Flasche gießt man Wasser, beides verkürzt den tönenden Luftraum und erhöht folglich seinen Ton.

Hat man nun eine Flasche oder ein cylindrisches Glas gefunden, dessen Ton etwas tiefer ist als der der Stimmgabel, so gießt man etwas Wasser hinein und hält dann die vibrirende Stimmgabel darüber. Falls nunmehr der Ton der Gabel und des Glases ganz gleich ist, so wird in dem Augenblick, wo die Fläche der Stimmgabel über die Mündung des Rohres kommt, dies voll und kräftig mitklingen. Ist der mitklingende Ton nicht sehr stark und rund, so ist dies ein Beweis, daß die beiden Töne nicht vollkommen gleich sind, dann muß man noch ein paar Tropfen Wasser zugießen, vielleicht auch abgießen, dies muß ausprobirt werden, es läßt sich nicht auf einmal machen, Geduld gehört dazu. Erst wenn die Töne vollkommen gleich sind, also die Flasche oder das Rohr vollständig mitklingt, kann man das Experiment machen, wegen dessen die Abstimmung des Glases vorgenommen wurde, nämlich die Interferenz der Töne zu zeigen.

Wie vorher an das Ohr, so hält man jetzt die Stimmgabel an die Mündung der Flasche dergestalt, daß eine Fläche derselben gerade über der Oeffnung steht. Wenn die Gabel schwingt, so setzt sie die ihr nächstgelegenen Luftschichten in dieselben vibrirenden Bewegungen, diese theilen die empfangenen Stöße weiter mit und so gelangen sie in die Flasche, welche in Folge derselben tönt.

Dreht man nunmehr, wie oben beschrieben, die über die Mündung

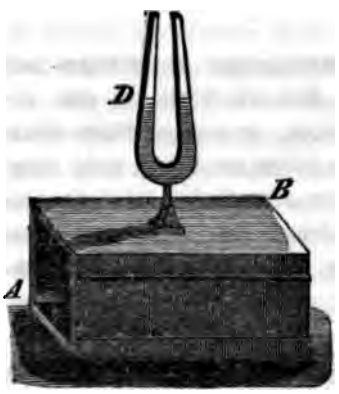
gehaltene Stimmgabel zwischen den Fingern, so daß bald eine Kante, bald eine Fläche über der Flasche schwebt, so wird man den Ton nach und nach anschwellen, sinken und verschwinden, wieder anschwellen bis zur größten Stärke, abnehmen und ganz verschwindend finden. An den Kanten, welche diese Wirkung haben, treten nämlich gleichzeitig über der Oeffnung Schwingungen von gleichem, aber entgegengesetztem Werthe auf. Die eine Hälfte drückt die Luft in der Flasche 400 Mal zusammen, die andere dehnt sie eben so oft und um eben so viel aus, daher bleibt die Luft unausgedehnt und unzusammengedrückt und kann folglich nicht tönen.

Vor dem Ohre schwebend in dieser Stellung treibt die vibrirende Stimmgabel die Luft 400 Mal in das Ohr hinein und drückt das Trommelfell 400 Mal nach einwärts, eben so oft aber verdünnt dieselbe Stimmgabel die Luft und verlangt, daß das Trommelfell sich auswärts biege. Beides zugleich ist nicht möglich, daher bleibt das Trommelfell ruhig in seiner natürlichen Lage, man hört also nichts.

Vibration der Luft.

Noch viel auffallender beweist das Tönen der Luft aber folgendes Experiment.

Fig. 49.



Man läßt sich einen Kasten von der Form *AB* machen. Der hier dargestellte ist vielleicht etwas zu kurz im Verhältniß zu seiner Breite und Höhe. Ein Cigarrenkistchen für 100 Stück würde durchschnittlich als das rechte Maß gelten können, dies ist jedenfalls das einfachste, wenn auch nicht eleganteste.

Die eine schmale Seite bleibt offen, sonst ist der Kasten rundum geschlossen.

Auf der Mitte der einen Seite ist ein Klötzchen aufgeleimt, welches den Stiel der Stimmgabel aufnimmt. Bevor man aber die Befestigung vornimmt, muß man sich überzeugt haben, daß die Stimmgabel den Kasten zum Mittönen bringt, daß also beide einen vollkommen gleichen Ton haben.

Ein zweites Kästchen wird ganz eben so, genau nach demselben Maße gemacht und eine gleichfalls mit der ersten übereintönende Stimmgabel wird auch hierauf befestigt.

Wenn man nun die eine der beiden Stimmgabeln *D* mit einem Violoncellbogen kräftig ſtreicht, ſo daß ſie mit der Luftſäule in dem Kaſten zuſammen tönt und man fährt nun mit der Oeffnung *A* des Kaſtens, worauf ſie ſteht, bei der Oeffnung des andern Kaſtens ſo vorüber, daß beide Mündungen nur auf einen Augenblick einander gerade gegenüber ſtehen (obſchon mehrere Zoll weit von einander entfernt), ſo wird augenblicklich die zweite Stimmgabel voll und kräftig mittönen, ſie iſt nicht durch einen Bogenſtrich, ſie iſt nicht durch Aufſchlagen zum Vibriren gebracht, ſondern lediglich dadurch, daß die Luft innerhalb des unter ihr befindlichen Kaſtens in diejenige Anzahl von Schwingungen verſetzt iſt, welche der Zahl der Schwingungen entſprechen, die nöthig ſind, um die Stimmgabel tönend zu machen.

Daß dieſe zweite Stimmgabel tönt, davon kann man ſich ſehr leicht überzeugen, nicht ſowohl dadurch, daß nach dem Vorbeiführen des einen Kaſtens vor dem andern der Ton ſtärker geworden iſt, ſondern dadurch, daß man die zuerſt geſtrichene, tönende Stimmgabel dämpft, bei ihren Zinken zwiſchen die Finger nimmt; ſie ſchweigt natürlich augenblicklich, aber der Ton dauert fort, weil die andere Stimmgabel ihn in voller Kraft aufgenommen hat.

Oerſted's Klangfiguren.

Es iſt von großem Intereſſe, dieſe Schwingungen zu verfolgen und dazu hat Oerſted die Mittel angegeben. Wie es häufig ſo geht mit Leuten, welche ein wiſſenſchaftliches Fach betreiben, zu dem ſie keinen Beruf haben, ſo auch mit ihm. Es waren ihm als Lehrer der Phyſik wohl einige Werke, welche darüber handelten, vielleicht ſogar deren Inhalt bekannt, allein er kannte meiſtentheils die Grundlage der Experimente nicht. Er hatte etwas von Chladni'ſchen Klangfiguren gehört, „man ſtreut leicht bewegliche Körper (Sand u. dergl.) auf die Glastafeln, ſtreicht ſie mit dem Violinbogen, dann bilden ſich Figuren."

Nun lagen dem gelehrten Dänen die Lichtenberg'ſchen Figuren im Gedächtniß; um dieſe zu erzeugen, nimmt man Bärlappſamen, das wird ja wohl auch gehen, dachte er, und ſiehe da, es ging wirklich. Er zeigte dieſe Figuren Jahre lang als Chladni'ſche Klangfiguren, was ſie jedoch nicht ſind, eine Erfahrung, welche er zuerſt machte, als ein deutſcher Studioſus, der ſchon auf mehreren deutſchen Univerſitäten Phyſik gehört hatte und zu ſeinem Vergnügen noch Schweden und Dänemark bereiſte, ihn

auf den Unterſchied der von ihm erzeugten und der Chladni'ſchen Klangfiguren aufmerkſam machte.

Hiermit trat eine neue Erfindung von Oerſted in's Leben und man hat jetzt ſeit einigen Jahrzehnden Oerſted'ſche Klangfiguren neben Chladni'ſchen. Dieſelben unterſcheiden ſich von denen des gründlichen Deutſchen, der ſie geſucht und erdacht hat, ſehr weſentlich. Die Chladni'ſchen Klangfiguren ſtellen eine Art Karte dar, von den bewegten Theilen und den ruhenden Theilen der Scheibe, es ſind Zeichnungen von geraden und krummen Linien, zwiſchen denen reine Flecke die Stellen zeigen, welche abwechſelnd erhoben und vertieft werden (ſchwingen, vibriren), indeß die mit Sand belegten Linien die Stellen bezeichnen, welche bei der klingenden Scheibe in Ruhe bleiben.

Die Oerſted'ſchen Figuren haben mit den Vibrationen der Glas- oder Metallſcheiben nichts zu thun, ſie ſtellen die Bewegung der Luft über der zitternden Scheibe dar, deshalb ſieht man ſie auch nicht auf den Ruhelinien, ſondern auf den Flächen, welche der Sand leer läßt.

Staubwirbel.

Man beſtäubt eine zu Klangfiguren beſtimmte Scheibe, von mehr als gewöhnlicher Größe, wenigſtens 6 Zoll Seite haltend, ziemlich ſtark mit Semen Lycopodii und ſtreicht nunmehr die Scheibe mit einem Violinbogen, ſo daß ſie das Diagonalkreuz giebt, dies iſt nämlich die am leichteſten zu erhaltende Figur, welche die größtmöglichſte Fläche der Scheibe ſchwingen läßt.

Sobald die Scheibe tönt, wird man den Staub ſich von den Ruhelinien hinweg bewegen, nach der Mitte der Dreiecke ziehen ſehen, hier tanzt und kreiſt er anfänglich ziemlich unregelmäßig, dann entſtehen deutliche Staubwirbel, der Bärlappſamen ſchwirrt lebhaft umher und fällt, ſo wie die Scheibe nicht mehr ſchwingt, in einer großen Menge vollkommen kreisförmiger Häufchen nieder.

Der Tanz dieſer Häufchen, bevor ſie ſich zur Ruhe ſenken, iſt ſehr unterhaltend, es iſt etwas ganz Eigenthümliches darin, es iſt als ob eine unſichtbare Gewalt die Partikelchen zuſammenführte und zu den Wirbeln nöthigte. Die Luft iſt dabei auf eine ſo heftige Weiſe bewegt, daß ſich damit noch ein ſehr intereſſantes Experiment verbinden läßt.

Bevor man dazu ſchreitet, ſtimmt man ein Rohr von Pappe durch Zuſammenſchieben oder Strecken ſo ab, daß es gerade den Ton der Scheibe hat. Nunmehr läßt man die mit Bärlappſamen beſtreute Scheibe durch den Bogen ſchwingen und hält wie zur Verſtärkung des Tones das Rohr

über eines der Dreiecke. In dem Augenblick, wo daſſelbe mittönt, iſt der Staub von der Stelle verſchwunden, und wenn man das Rohr nun an eine andere klingende Stelle führt und ſcharf danach ſieht, was denn eigentlich dabei vorgeht, ſo nimmt man wahr, daß ſich von allen Seiten der Staub nach dem Rohre zu ſtürzt und darin aufſteigt, wie der Rauch im Schornſtein.

Durch die Scheibe werden demnach im Klingen nicht nur Luftwirbel erregt, um den Bärlappſamen kreisförmig zu drehen und in abgeſonderte Halbkügelchen aufzuhäufen, ſondern die dadurch erregten Schwingungen bringen auch in der gleichgeſtimmten Röhre einen Ton hervor und die darin erregte Bewegung zieht wie eine Saugepumpe die vibrirende Luft empor, wie wir beim Tönen der Orgelpfeife, um die Luftſchwingungen ſichtbar zu machen, bereits gezeigt.

Savart's Staubfiguren.

Zum Beweiſe, daß es nicht die Scheibe, ſondern die durch dieſelbe bewegte Luft ſei, welche dieſe Figuren bildet, dient, daß keins dieſer Experimente im luftleeren Raum anzuſtellen iſt. Savart, welcher vielleicht das Großartigſte geleiſtet hat, was in dieſer Hinſicht zu erzielen iſt, bewerkſtelligte auch die Vibration einer Glasſcheibe im luftleeren Raum, unter ſehr großen Glocken. Daß der Ton nicht zu hören war, verſteht ſich von ſelbſt, denn die Luft gehört nun einmal als unerläßliche Bedingung zur Fortpflanzung des Schalles. Die Chladni'ſchen Klangfiguren dagegen traten in aller Schärfe hervor, weil ſie lediglich von der Vibration der Scheibe abhängen, keineswegs von der ſie umgebenden Luft. Etwas Anderes war es mit den Oerſted'ſchen Figuren, dieſe im luftleeren Raum darzuſtellen, gelang eben ſo wenig, als man den Staub der Lycopodium-Pflanze dazu brachte in der Röhre empor zu ſteigen. Dies dürfte als ein ſehr ſicherer Beweis dafür angeſehen werden, daß die bewegte Luft allein es iſt, welche die Oerſted'ſchen Figuren erzeugt.

Savart hat noch eine ſehr ſchöne Modification dieſes Verſuches angegeben, welcher nicht weniger wie der vorige die Betheiligung der Luft bei den Bewegungen des Staubes zeigt.

Wenn man den Bärlappſamen auf die Scheibe geſtreut hat und ſtreicht nun mit dem Bogen nicht ſenkrecht auf die Richtung der Platten, ſondern ſchräg, ſo ſieht man zwar auch die gedachten Wirbel entſtehen, allein ſie bewegen ſich horizontal fort, am deutlichſten und ſchönſten, wenn die Scheibe kreisförmig iſt und im Mittelpunkte gehalten wird.

Allerdings muß hierbei der Bogen kräftig und wiederholt geführt werden, allein in dieſem Falle iſt auch der Erfolg unzweifelhaft und der Marſch

der kugelförmigen Häufchen ſo lebhaft, daß man ihm mit Verwunderung und mit Vergnügen zuſieht.

Die Reibung mit dem Bogen in ſchräger Richtung bewerkſtelligt ein Vibriren der Scheibe nicht bloß auf und ab, ſondern auch in der Ebene der Scheibe ſelbſt, ſo werden die Lufttheilchen und mit ihnen die Staubtheilchen der Scheibe nicht bloß auf und ab, ſondern auch ſeitwärts geſchleudert, und da durch den wiederholten Bogenſtrich die ſeitlichen Vibrationen verſtärkt und beſchleunigt werden, ſo wird auch die Luft und mit ihr der Staub in immer ſchnelleren Kreiſen umher getrieben.

Vibrationen dem Waſſer mitgetheilt.

Von welcher Gewalt die Vibrationen einer Scheibe übrigens ſind, davon kann man ſich überzeugen, wenn man eine ſolche in die Schraubenzwinge der Fig. 27 (ſ. S. 35) klemmt, mit der einen Hand ſo hält, daß die Scheibe ſenkrecht ſteht, ſie mit einer Kante in eine Schüſſel mit Waſſer taucht und nun an der Seite mit dem Bogen die Scheibe ſtreicht.

Der Bogen muß jedoch nicht in der Mitte einer Seite angeſetzt werden, wodurch das Diagonalkreuz entſtehen würde, ſondern in der Nähe einer Ecke, wodurch man das gerade Kreuz hervorbringt.

Wenn dies geſchieht, ſo wird das Waſſer in dem Becken nicht bloß erzittern und kleine Wellen ſchlagen, ſondern es wird mit ſolcher Gewalt gepeitſcht, daß es hoch in feinen Bogen emporſpritzt und über die Ränder der Schüſſel hinwegfliegt, dabei ſind die Bewegungen des Waſſers, ſo weit es in der Schüſſel bleibt, vollkommen regelmäßig; es entſtehen nämlich an jeder Seite der Tafel zwei Wirbel oder Strudel, welche von den äußern Kanten im Bogen nach der Mitte der Tafel zu führen, hier zuſammen kommen, auf die Tafel zuſtrömen und nunmehr ſich abermals theilen, von der Mitte der Tafel jederſeits nach den Kanten zuſtrömen, um wieder von Neuem in den Kreislauf einzutreten.

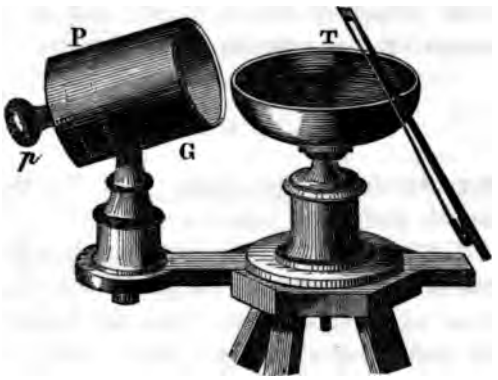
Vibrationen einer Glocke.

Beabſichtigt man, die Vibrationen einer Glasglocke ſichtbar zu machen, ſo iſt dies mit trockenen Subſtanzen, mit Sand, mit Staub nicht möglich, weil beides von den gekrümmten Flächen herabfällt. Man verfährt daher auf folgende Weiſe:

Auf eine feſte Unterlage, einen Tiſch, oder was es ſei, befeſtigt man eine Glocke *T*, ſo daß ihr Knopf, ihr Griff nach unten gekehrt, in dem

Holz des Fußes steckt, indeß die weite Oeffnung nach oben gerichtet ist. Die Glocke kann von einem gegossenen elastischen Metall oder von Glas sein, von geschlagenem Metall, also z. B. aus Messing getrieben darf man sie nicht nehmen, weil hierdurch keine vollkommene Gleichartigkeit des metallischen Gefüges erzielt werden kann, welches zu regelmäßigen Schwingungen unerläßlich ist.

Fig. 50.



Wenn die Befestigung der Glocke gut ist, so wird man sie mit dem Bogen sehr wohl streichen und zum kräftigen Tönen bringen können. Es ist dabei wesentlich, daß der Ton rein sei, daß nicht verschiedene Töne durch einander schwirren, ist dies der Fall, so erhält man keine reine Figuren.

Klingt die Glocke gut (was bei Glas meistens der Fall ist), so füllt man zur Hälfte oder zum dritten Theile Wasser hinein. Wenn man nunmehr den Rand der Glocke streicht, so sieht man von dem Körper derselben sich gekräuselte Wellen über die ganze Wasserfläche verbreiten, welche jedoch ganz deutlich in vier Dreiecke geordnet sind, solchergestalt, daß die Wellen an den Rändern der Glocke am stärksten sind, gegen die Mitte zu immer kleiner und niedriger werden, und eben so nach den geraden Linien hin, welche die Dreiecke, vom Mittelpunkte ausgehend, als Radien eines Kreises begrenzen. Man sieht an diesen Stellen mit den kleinsten, beinahe verschwindenden Wellen die Knotenlinien der Glastafeln, man kann durch Dämpfen mit dem Finger in einer angemessenen Entfernung von dem Bogen die Theilung in mehr Dreiecke bewerkstelligen. Die angemessene Entfernung muß allerdings näher bezeichnet werden.

Es schwingt eine jede runde Tafel oder eine Glocke in vier, sechs, acht, jederzeit aber in einer paarigen Anzahl von Abtheilungen, der Ruhelinien sind eben so viele als der schwingenden Stellen; sind der schwingenden

Stellen vier, so liegen sie um einen Viertelkreis aus einander, um einen Sechstel- oder Achtelkreis, wenn der schwingenden Abtheilungen sechs oder acht sind.

Da wo der Bogen angesetzt wird, findet die größte Ausbiegung der Scheibe oder Glocke beim Tönen statt, und von dieser Stelle zählt man die Entfernung desjenigen Punktes, den man dämpfen muß. Soll die Scheibe oder Glocke in vier Abtheilungen schwingen, also den tiefsten Ton angeben, dessen sie fähig ist, so dämpft man sie bei $\frac{1}{8}$ des Umkreises von dem Bogen, soll die Glocke in sechs Abtheilungen schwingen, so dämpft man sie in $\frac{1}{12}$, soll sie in acht Abtheilungen schwingen, in $\frac{1}{16}$ des Kreisumfanges der Scheibe, und man wird allemal den Ton dieser Abtheilung entsprechend höher finden als vorher, man wird die Dreiecke mit den Wellen immer kleiner, die Wellen aber immer kürzer werden sehen, je näher die Dämpfstelle an der Stelle des Bogenstriches liegt.

Wenn man diese Wellenbewegungen recht deutlich sichtbar machen will, so streut man auf das Wasser in der Glocke, so lange dieselbe in Ruhe steht, Bärlappsamen. In dem Augenblick, in welchem man streicht, entstehen in dem Bärlappsamen noch viel heftigere kreisende Bewegungen, als wenn derselbe auf einer tönenden Scheibe läge, die Häufchen ordnen sich eben so und bleiben, wenn die Glocke zu schwingen aufhört, auf der ruhenden Wasserfläche zu Kreisen geordnet liegen.

Verstärkung des Tones.

Die Mittheilung des Tones an die Luft kann bei einer Glocke eben so gezeigt werden wie bei einer Scheibe. Die Fig. 50, S. 60 giebt hierzu die nöthige Anordnung. *PC* ist eine weite Röhre von Pappe, welche bei *C* auf einem Fuße steht, der, wie die Figur zeigt, mit dem Tische, auf welchem die Glocke steht, durch einen Schieber so in Verbindung ist, daß man sie näher an die Glocke bringen oder weiter davon entfernen kann.

Die Röhre muß etwas länger sein als muthmaßlich nöthig, damit man sie abstimmen könne, dies geschieht durch einen breiten Stöpsel, einem Pfropfen *P* von Holz, mit Tuch seitlich bezogen, so daß er sich in der Röhre ohne große Gewalt verschieben läßt, ein Stiel an diesem Pfropfen, mit einem Knopf versehen, dient dazu, den Spunt, welcher die Länge der Röhre reguliren soll, bequem zu verschieben.

Es ist dies einer von jenen leicht herstellbaren Apparaten, welchen ein jeder Dilettant sich selbst machen kann (eine Glasglocke und eine Pappröhre, die erstere mit dem Knopfe eingeklemmt, die andere auf einen Fuß geleimt)

und welche wegen ihrer großen und verschiedenartigen Wirkung von bedeutendem Interesse sind.

Die Verbindung der Glocke mit dieser Röhre gestattet eben so gut, die Verstärkung des Tones als die Interferenzstelle zu zeigen; man darf den Bogenstrich nur gerade da anbringen, wo in der Figur der Bogen zu sehen ist, d. h. solchergestalt, daß er nicht der Mündung der Röhre gegenüber, sondern seitlich von derselben wirke, und bei T dämpfen, d. h. um einen rechten Winkel von der Mitte der Mündung entfernt, so wird die Röhre nicht mittönen, denn sie steht einer Knotenlinie gerade gegenüber und es sollen also in demselben Augenblicke gleich viel in dieselbe hinein- und aus derselben herausgehende Luftwellen erzeugt werden, welches unmöglich ist. So wie man aber dies einfache Experiment damit zeigen kann, so dient der Apparat auch, das ganze Zimmer in eine Orgelpfeife zu verwandeln, wenn dasselbe dem Ton entspricht, denn man darf die Mündung der Glocke nur gegen eine Ecke des Plafonds wenden, so wird der Ton des Zimmers, sogar des größten Saales kräftig angegeben werden, ja bei gleicher Stimmung und starkem Bogenstrich wird das Zimmer schmetternd mittönen.

Da alles Tönen auf Vibration der Luft beruht, so kann auch ein Zimmer, ein Saal nicht anders tönen, als daß die Luft darin in zitternde Bewegung gesetzt wird. Dem bekannten französischen Gelehrten Savart ist es gelungen, auch diese Vibrationen sichtbar zu machen, indem er eine große und zarte Membrane (Goldschlägerhaut) auf einen Rahmen spannte, mit Sand bestreute und diese längs der Mauer des Saales fortführte. So fand er nicht nur die Vibrationen wirklich vor, indem der Sand auf dem feinen Häutchen sprang und hüpfte, er konnte sogar die Schraubenlinie verfolgen, in welcher der Reflex des Tones von den Wänden vor sich ging.

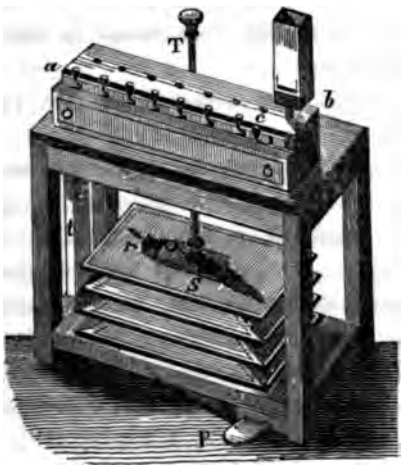
Longitudinalschwingungen.

Um die Gesetze der Töne und der Tonfolge bei Röhren (Flöten, Pfeifen) anschaulich zu machen, muß man vor Allem eine Vorrichtung haben, um mehrere Pfeifen zugleich ansprechen zu lassen; hierzu dient sehr gut ein sogenannter Blasetisch, wie ihn die Glasbläser haben, nur mit dem Unterschiede, daß statt einer schmutzigen Oellampe ein reinlicher Windkasten darauf steht, welcher bestimmt ist, die Mündungen der Pfeifen aufzunehmen und sie tönen zu lassen. Fig. 51 auf der folgenden Seite zeigt den Apparat, der eigentlich kaum einer Beschreibung bedarf.

Unter einem ziemlich starken Tische befindet sich ein Blasebalg mit mehrfältiger Windlade S, welcher durch den Tritt P in Bewegung gesetzt

werden kann. Bei S befindet sich ein Gewicht, welches die Windlade drückt, so daß dieselbe vermöge der darauf liegenden Last der Luft eine stärkere als die gewöhnliche Spannung giebt. Von S geht durch den Tisch hindurch ein Stab mit einem Griffe T, vermöge dessen man den Druck auf die Windlade und also die Stärke der Spannung im Innern bedeutend vermehren kann, damit dies jedoch nicht in einem zu hohen Grade geschehe und etwa dem Blasebalg schädlich werde, ist bei r in der Nähe des Gewichtes ein Ventil angebracht, das sich nach außen öffnet, zwar von einer starken Feder gedrückt wird, doch zur rechten Zeit nachgiebt.

Fig. 51.



Oben auf dem Tische steht der Windkasten ab, mit einer Reihe von Löchern, in deren erstem bei b eine Orgelpfeife steckt. Der Wind geht aus dem Blasebalg durch ein Rohr t auf der linken Seite des Tisches in den Windkasten und aus diesem in die Pfeifen. Damit aber diese nicht sämmtlich zugleich tönen, befindet sich unter jedem Loche eine kleine Lederklappe, welche den Austritt der Luft verhindert, bis sie durch einen Druck von außen gehoben wird; hierzu sind in der Linie ac eben so viele Knöpfe angebracht als Löcher in dem Windkasten sind. So lange man irgend einen der Knöpfe herabdrückt, hält man das seiner Stellung entsprechende Ventil offen und die Flöte kann tönen; sobald der Druck nachläßt, schließt sich durch eine Feder die Klappe.

Durch diesen Apparat hat man es in seiner Gewalt, einen gleichmäßig starken Luftstrom lange Zeit auf Pfeifen und Sirenen wirken zu lassen, bei weitem sicherer und dauernder, als es durch die Lunge möglich wäre; überdies kann man ein Dutzend Pfeifen zugleich anblasen, was ohne einen solchen Apparat schon gar nicht ausführbar ist. Mittelst dessen und der nöthigen Pfeifen aber ist man im Stande, alle Gesetze der Luftschwingungen zu verfolgen.

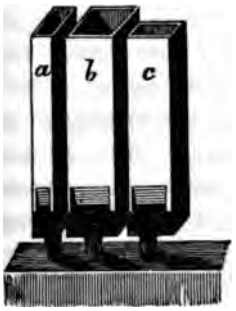
Die Form der Pfeifen ist nach der Theorie ganz gleichgültig. Wie wenig die Praxis diesem Gesetze entspricht, kann man sich mittelst Pfeifen von verschiedener Form bald klar machen.

Form der Luftsäule.

Das Gesetz spricht einfach aus, es hängt die Höhe des Tones von der Länge der Pfeife ab, eine halb so lange Pfeife giebt einen doppelt so hohen Ton, die übrigen Verhältnisse sind gleichgültig.

Es ist dies durchaus falsch, es kommt auch noch auf die Tiefe der Pfeife und auf die Breite des Labiums an.

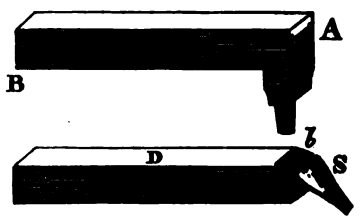
Fig. 52.



Betrachten wir uns noch einmal die hier wiederholte Figur, so sollten, weil sie gleiche Länge haben, die drei Pfeifen *a*, *b* und *c* einen Ton von ganz gleicher Höhe geben, vielleicht wird die Färbung, die Kraft eine andere sein, die Höhe muß der Theorie nach in allen gleich langen Pfeifen gleich sein; dies findet auch statt bei den beiden gleich dicken *a* und *b*, obwohl sie sehr verschieden an Breite sind, nicht so ist es mit *b* und *c*, obschon sie gleich lang und gleich breit sind. Hier giebt die weniger dicke Pfeife *c* einen viel höheren Ton.

Wo eine Pfeife angeblasen werde, wenn es nur an einem der Enden geschieht, ist gleichgültig. Man kann es daher machen, wie in *AB*, wo die Pfeife über Eck angeblasen wird, oder wie bei *D*, wo das Rohr *S* einen beliebigen Winkel mit dem Labium *b* macht, das verändert den Ton nicht, wenn jedoch bei einer breiten Pfeife die Labialöffnung nicht die ganze Breite der Luftsäule einnimmt, so wird dadurch sofort der Ton erniedrigt, und wenn man die Labialöffnung in einer Ecke macht, statt sie die ganze Breite der Pfeifen einnehmen zu lassen, so ist der Ton um eine Octave niedriger.

Fig. 53.

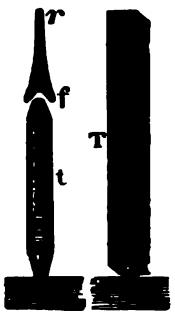


Der Einfluß des freien Zutritts der Luft ist so groß, daß eine bloß seitliche Begrenzung schon einen Unterschied macht. Wenn man zwei Pfeifen von gleicher Länge und Dicke, so wie von gleicher Lippenbreite, welche also einen ganz gleichen Ton haben, neben einander auf den Blasetisch bringt, an der einen Pfeife aber, neben der Windspalte, von jeder Seite einen thalergroßen Lappen von Pappe, Holz oder Zinn befestigt, so wird der Ton um eine Terz tiefer und durch größere Annäherung oder Entfernung modificirt sich der Ton bedeutend.

Eben von so großem oder vielmehr von noch größerem Einfluß auf die Höhe des Tones ist die Entfernung des oberen Labiums von der Spalte; der Raum läßt sich theoretisch gar nicht vorher bestimmen, im Gegentheil sollte nach dem an sich einfachen Gesetze longitudinal schwingender Körper dies ganz gleichgültig sein, wenn nur Wind genug da ist, damit die Pfeife überhaupt anspricht; es ist jedoch keineswegs so, die richtige Entfernung des oberen Labiums von der Windspalte muß durch Versuche gefunden werden, ist diese Entfernung zu gering, so hat man beim Anblasen statt des Grundtons die Terz, ja wohl gar die Quinte.

Ganz eben so verhält es sich mit der entgegengesetzten Oeffnung, sie ist von größtem Einfluß auf die Höhe oder Tiefe des Tones, wenn, statt daß die Röhre regelmäßig cylindrisch oder prismatisch verläuft, das obere Ende sich erweitert, also zu einem umgekehrten Kegel oder einer umgekehrten Pyramide wird, so erhält man dadurch einen höheren Ton, wird hingegen die Mündung enger gemacht, auch pyramidal oder konisch, aber aufrecht stehend, so wird der Ton der Pfeife tiefer. Es beruht hierauf die Möglichkeit des Stimmens offener Pfeifen. Für zinnerne und cylindrische bedient man sich eines Instruments von der Form *rf* der nebenstehenden Fig. 54: eines Kegels, den man mit seiner Höhlung auf die Pfeifenmündung drückt, wenn sie verengert, wenn der Ton tiefer gemacht werden soll, den man aber umgekehrt mit dem Ende *r* in die obere Mündung drückt, wenn diese erweitert, wenn der Ton höher gemacht werden soll.

Fig. 54.



Der Theorie nach müßte eine offene Pfeife einen gewissen Ton geben, wenn sie nur überhaupt offen ist. Ein Fernrohr giebt ein rundes Bild, auch wenn man die Hälfte, ja drei Viertheile des Objectivglases zudeckt. Das Verhalten der offenen Röhren ist nachgerade auch ein gesetzmäßiges, man hat die Gesetze aus den Erfahrungen hergeleitet, allein dies sollte nicht nöthig sein, sie müßten aus den allgemeinsten Begriffen abgeleitet werden können.

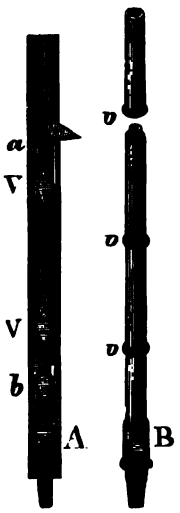
Einfluß der Dimensionen.

Auch mit dem Verhältniß der Länge zur Weite ist es so. Die Theorie spricht nur von der Länge der longitudinal schwingenden Körper und sagt, ihre Weite sei gleichgültig, die Praxis erwidert darauf: „daß dem gar nicht so, sondern daß die Weite von großem Einflusse sei.“

Sobald man eine 3 bis 4 Fuß lange Pfeife von sehr geringer Breite hat, wird man dieselbe an vier bis fünf verschiedenen Stellen durchschneiden können, ohne daß dadurch die Höhe des Tones im Geringsten verändert wird. Diese Stelle kann gefunden werden, wenn man die Pfeife so anbläst, daß sie ohne alle Künstelei im Blasen leicht anspricht. Man wird alsdann wahrnehmen, daß die Höhe des Tones gar nicht der Länge angemessen ist.

Man sucht sich nun diejenige kurze Pfeife, welche diesen Ton hat und trägt ihre Länge über auf die lange Pfeife, und schneidet sie an denjenigen Stellen durch, welche diesen Längenabtheilungen entsprechen. Auf solche Weise erhält man nunmehr eine zerstückelte oder zusammengesetzte Pfeife *B*, welche durch Schrauben bei den Stellen *vvv* zu vereinigen oder zu trennen ist, und es ist gleichgültig, ob man die Pfeife *b* anbläst, wenn sie aus einem, zwei, drei oder vier Stücken bestehe. Im Besitz des Professor Dove befindet sich eine so construirte Pfeife, welche aus fünf Ansätzen gebildet ist und den nämlichen Ton bei einem oder bei allen fünf Stücken giebt.

Fig. 55.



Es entstehen bei langen Pfeifen nämlich von selbst Abtheilungen, wenn sie nicht in einem guten Verhältniß der Länge zur Breite stehen. Eine offene Pfeife von richtiger Proportion hat einen Knoten in der Mitte, ist sie für ihre Breite zu lang, so giebt sie nicht mehr den Grundton, sondern einen höheren als ihr für ihre Länge zukommt, alsdann macht sie mehr als einen Knoten und dann darf man sie in der Mitte zwischen zwei Knoten abschneiden oder öffnen, es hat dies keinen Einfluß mehr auf die Höhe des Tones. Ein Anderes ist es mit den Knotenpunkten, in diesen darf keine Veränderung vorgehen, wenn nicht eine Veränderung des Tones die Folge davon sein soll.

Seitliche Oeffnungen an Pfeifen.

Die soeben betrachtete Zeichnung enthält unter *A* eine Pfeife, welche eine Einrichtung hat, um dies anschaulich zu machen. Die Länge der Pfeife ist, wie in der nebenstehenden *B*, zu groß für ihre Breite, sie hat daher mehrere Knotenpunkte *a* und *b* und in der Mitte zwischen den beiden *V* einen nicht bezeichneten Punkt. An den Stellen, neben welchen ein *V* steht, sind die stärksten Schwingungen, die größten Bogen der Wellen, diese darf man öffnen, ohne den Ton zu verändern; öffnet man aber *a* oder *b*, so wird,

da hier ein Knotenpunkt ist, dieser Knotenpunkt verschoben und dadurch der Ton verändert.

Die Durchschnittspunkte der Pfeife *A*, welche den Ton nicht verändern, sind solche Wellenanschwellungen; würde man die Pfeife zwischen zwei solchen Anschwellungspunkten durchschneiden, so würde der Ton sofort verändert werden.

Auf dieser Durchschneidung der Knotenpunkte beruht die Behandlung der hölzernen Blaseinstrumente, Flöte, Hoboe, Clarinett, Fagott, und seit den letzten 40 Jahren auch die der Blechinstrumente, Trompete und Horn, nicht so der alten Blechinstrumente, der Posaune u. a.

Die Flöte und die anderen Holz- oder Klappeninstrumente haben eine gerade oder gewundene Röhre, in welcher die Luftsäule durch Anblasen mittelst der Lippen erschüttert, in Vibration versetzt wird, wodurch die Luftsäule erklingt. Die Oeffnungen der Flöte, Clarinett ꝛc. dienen dazu, die Luftsäule so weit zu verkürzen als nöthig, um höhere Töne hervorzubringen. Eigentlich müßten die Oeffnungen an den Knotenpunkten sein; wir sehen aber in der Zeichnung Fig. 56, welche die Verhältnisse der gewöhnlichen

Fig. 56.

Querflöte giebt, daß erstens dem nicht so ist, daß zweitens, wenn es so wäre, die Töne ganz anders auf einander folgen müßten als in der Wirklichkeit geschieht.

Blaseinstrumente.

Es zeigt sich auch hier, wie bereits bemerkt, sehr viel mit der Theorie nicht Uebereinstimmendes, so wie Aehnliches stattfindet mit den Blaseinstrumenten mit und ohne Klappen. Die Modificationen, welche der Ton durch den Ansatz der Lippen an das Horn- oder Trompetenmundstück erhält, können theoretisch gar nicht gelehrt, müssen von einem Jeden erst praktisch und zwar mit vieler Mühe gelernt werden, bis sie sich dann endlich durch die Gewohnheit so von selbst bilden, wie die verschiedenen Lagen der Zunge gegen Gaumen, Lippen, Zähne, Kehlkopf und wie die verschiedenen Modificationen des Luftstromes aus der Lunge beim Sprechen und beim Singen, deren sich auch Niemand mehr bewußt ist, die er macht, bewerkstelligt, ohne Rechenschaft davon geben zu können.

Die Einrichtung der Klapphörner und Klapptrompeten giebt so wenig Aufschluß hierüber, als die Einrichtung der Posaune, bei welcher man der Tonbildung durch Verlängerung und Verkürzung des ganzen Rohres zu Hülfe kommt. Es liegt Vieles darin, was sich auf die bekannte Theorie von der Länge der Luftsäule und von der größeren oder geringeren Geschwindigkeit der Wellen stützt, das Ganze ist jedoch noch lange nicht reif zum mathematischen Calcul.

Bei den Blechinstrumenten wird der Ton durch mehr oder minder gepreßte Lippen, welche den Luftstrom der Lunge in die Mündung des Instrumentes senden, hervorgebracht, bei der Flöte und dem damit verwandten Instrumente Panflöte ꝛc. ist die Erregung des Tones ganz derjenigen bei Orgelpfeifen ähnlich; es wird ein schmaler Luftstrom gegen eine scharfe Kante des Blaseinstrumentes gerichtet und dadurch die Luftsäule im Innern desselben in die nöthigen Schwingungen gesetzt. Anders ist es bei dem Clarinett, Hoboe, Fagott und anderen Instrumenten der Art, die man mit einer gewissen Art Orgelpfeifen unter dem Gesammtnamen Zungenpfeifen begreifen könnte.

Bei allen diesen wird der Ton hervorgebracht durch eine sehr elastische Feder (von Rohr oder Metall), welche dem Luftstrom bald Eintritt in das Blaseinstrument gestattet, bald verwehrt (wie bei der Visharmonika) und da entweder die Lippen durch ihren Druck auf die Rohrflächen diese Geschwindigkeit, und mit ihr den Wechsel des Durchlassens und Nichtdurchlassens, vermehren oder vermindern können, wie bei den Blaseinstrumenten, oder für jeden Ton eine solche ihm zukommende Geschwindigkeit ein für allemal angeordnet werden kann, wie bei den Zungenpfeifen der Orgel, so ist daraus ersichtlich, daß eine sehr große Menge von Tönen hierdurch erzeugt werden kann, auch sie werden modificirt durch die Oeffnungen der Röhren, in denen die Zungen spielen, durch Schallstücke u. s. w.; daher die große Mannigfaltigkeit nicht nur der Register einer Orgel, sondern der Töne eines einzelnen Instrumentes, das Clarinett und das am nächsten damit verwandte Bassethorn, hat in seinen tiefen, mittleren und hohen Octaven eine so außerordentlich verschiedene Färbung, daß derjenige, der nicht als Musiker damit vertraut ist, gar nicht glaubt, daß er durch drei Octaven dasselbe Instrument hört, und daß derjenige, welcher nicht mit so wunderbarem Tact begabt ist, wie C. M. v. Weber, im Gebrauche dieser Instrumente mitunter die wunderbarsten Mißgriffe macht.

Longitudinalschwingungen fester Körper.

Wir haben zuerst die Querschwingungen von Saiten und von Platten, dann die Longitudinalschwingungen von Luftsäulen betrachtet. Diese sind es jedoch nicht allein, welche Longitudinalschwingungen machen können; auch Saiten und Stäbe schwingen der Länge nach und hierbei bemerkt man sogleich, daß die Töne, welche auf solche Weise hervorgebracht werden, ungemein hoch sind und gar keinen Vergleich halten mit denjenigen Tönen, welche von denselben Körpern hervorgebracht werden, wenn sie querschwingen.

Um die Längenschwingungen hervorzubringen, läßt man sich aus Holz verschiedener Art, aus verschiedenen Metallen, aus Glas in Röhren- oder in Stabform, Stangen von verschiedener Länge und Dicke machen.

Ein solcher Stab wird in der Mitte gefaßt und entweder mit den Fingern, welche in Harzstaub getaucht sind oder mit einem feuchten Lappen, auf welchen man Colophonium in Pulverform gestreut hat, so gerieben, daß man den Stab umfaßt und von der Mitte nach dem einen Ende streicht, in der Umfassung zieht, als wollte man die Stange, den Stab dehnen, aus einander ziehen. Indem derselbe dabei durch die Finger gleitet, wird er auch allerdings gestreckt, doch entgleitet er immerfort wieder der haltenden Hand, die ihn aber immer wieder faßt, wenn sie ihn schon immer wieder entgleiten lassen muß.

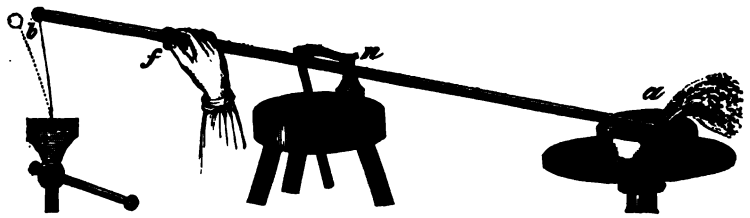
Hierdurch entstehen aber die Vibrationen, welche schnell genug auf einander folgen, um Töne, ja um sehr hohe Töne hervorzubringen, welche aber auch so gewaltsam sind, daß sie nicht selten zur Zertrümmerung des Stabes, in dem sie erregt werden, Anlaß geben. Wenn man z. B. eine Glasröhre von etwa 4 Fuß zum Tönen bringt, so steht man bei jedem Streichen in Gefahr, die Röhre durch die Heftigkeit der Erschütterung ihrer Theile in Trümmer springen zu sehen.

Ist die Stange von Holz oder von Metall, so wird man dies allerdings nicht riskiren und man wird es bei dem einfachen Experiment auch kaum ahnen, allein es giebt zwei sehr einfache Mittel, die Gewalt und die Lebhaftigkeit der Ausdehnungen und Zusammenziehungen anschaulich zu machen, welche beide wir auf der folgenden Seite durch eine Zeichnung zu versinnlichen suchen.

Vermöge eines Bankhakens oder auf irgend eine sonstige Weise ist der Stahlstab oder Messingstab ab in seiner Mitte bei n auf einem Tische solchergestalt festgehalten, daß er nicht durch eine zu breite Unterlage an freier Schwingung gehindert wird. Der Stab steht schräg und das herab-

hängende Ende reicht in ein Gefäß mit Waſſer, das höher ſtehende Ende ſtößt an eine mit einer kleinen Kugel verſehene Feder, welche in einen Schraubſtock geklemmt iſt.

Fig. 57.



Das eine oder das andere Ende, nach Belieben, wird mittelſt eines naſſen Tuch- oder Filzlappens *f*, welcher mit Colophonium beſtreut iſt, gerieben. So wie dies geſchieht, wird nicht nur die kleine Feder, welche gegen das Ende des Stabes ſtößt, mit Gewalt zurückgeſchleudert und hunderte von Malen hinter einander in die punktirte Lage zurückgeworfen, ſondern auch das andere Ende, welches von der ſtreichenden Hand gar nicht berührt worden iſt, hat Antheil an den der einen Hälfte mitgetheilten Vibrationen, ſo daß aus dem Gefäße, in welches das Ende taucht, Waſſer in Menge umhergeſpritzt wird.

Geſetze für longitudinal ſchwingende Körper.

Die Töne, welche durch dieſe Vibrationen hervorgebracht werden, ſind ſchneidend hoch und um tiefe Töne hervorzubringen, würde man zu Stäben von 20 bis 30 Fuß Länge ſeine Zuflucht nehmen müſſen, denn die Schwingungen ſind ſo ungemein ſchnell, daß ſie noch bei 4 Fuß Länge des ſchwingenden Stabes zehntauſend und darüber betragen; daher braucht man auch zu den tiefen Orgeltönen Pfeifen von 32 Fuß Länge, allein im Uebrigen richten ſie ſich gleichfalls nach den Geſetzen, welche für die querſchwingenden Körper gelten, denn an ſich iſt es ganz gleichgültig, in welchem Sinne die Schwingungen vor ſich gehen, ob longitudinal oder transverſal, immer beſtehen dieſe Schwingungen aus einem Verrücken der Theile des ſchwingenden Körpers gegen einander, und zwar aus einem Strecken und darauf folgenden Zuſammenziehen eben ſo gut bei den transverſal ſchwingenden Körpern als bei den longitudinal ſchwingenden, denn eine Saite, indem ſie ihre Excurſionen nach rechts oder links macht, muß ſich noch mehr verlängern als ein gerader Stab; der Unterſchied des Tones liegt auch nicht darin, ob die Schwingungen der Länge oder der Quere nach ſtattfinden, ſondern lediglich

darin, daß die Longitudinalſchwingungen in ſehr viel größerer Schnelligkeit auf einander folgen als die transverſalen, daher der ſchneidende Ton longitudinal ſchwingender Stäbe.

Marloye's Staborgel.

Ein Curioſum, welches ſich jetzt in vielen phyſikaliſchen Cabinetten befindet, doch ſchwerlich über dieſe engen Grenzen hinausgehen wird, iſt ein angeblich von Marloye erfundenes muſikaliſches Inſtrument, welches meine Leſer unter Fig. 58 abgebildet finden. Es beſteht aus einem Kaſten, in deſſen oberem, ſchmalen Deckbrett etwa 20 dünne runde Stäbchen eingelaſſen ſind. Man ſieht ihre Anordnung ohne weitere Erklärung ein. Die Stäbchen haben die Dicke eines Thonpfeifenſtieles und ſind nach der chromatiſchen Tonleiter geſtimmt; um hierbei das Auffinden der Töne zu erleichtern, ſind die halben Töne gefärbt, die ganzen Töne aber (die diatoniſche Scala) weiß gelaſſen.

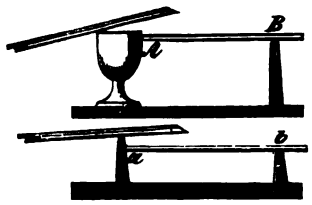
Fig. 58.

Geſpielt wird dies Inſtrument mit zwei Händen, deren Daumen und Zeigefinger man in gepulvertes colophoniſches Harz taucht und zwiſchen dieſe Finger ein und das andere Stäbchen faſſend, daran herunter ſtreicht. Die Töne ſind ſchneidend und können Damen zu Ohnmacht und zu Krämpfen verhelfen. Wenn ſtatt des Deckbrettes, das gewöhnlich maſſiv genommen wird, ein leichter Reſonanzboden die Stäbchen trüge, welche etwa durch eine unter denſelben geleimte Leiſte gehalten werden könnten (wie die Knöpfchen zur Befeſtigung der Harfenſaiten), würde der Ton angenehmer werden, auch könnten die Klangſtäbe vielleicht von Stahl oder Meſſing ſein; einen Werth als muſikaliſches Inſtrument wird dieſer Apparat wohl ſchwerlich jemals erhalten.

Mericourt's Schwingungsversuche.

Um sehr lange und schmale Stäbe, um metallene Bänder zum Schwingen zu bringen, bedient man sich eines künstlichen Mittels. Man befestigt die Klinge, das Sägeblatt, die Uhrfeder AB an einer Glasglocke oder einem Pokal von derselben Substanz, legt das andere Ende frei und beweglich auf einen schmalen Unterstützungspunkt B und streicht nunmehr die Glocke gegenüber der Befestigungsstelle der Feder (gewöhnlich bewerkstelligt man dies durch Siegellack) mit einem Violinbogen. Die Transversalschwingungen, in welche die Glocke hierdurch versetzt wird, theilen sich nun dem schmalen Stabe in der Art mit, daß er, wie man leicht einsieht, Längenschwingungen machen muß; allein so richtig die Sache scheint, so wenig ist sie es. Man theilt jedem Körper, welcher durch das Anstreichen in die ihm eigenthümlichen Schwingungen versetzt werden soll, die Schwingungen eines anderen Körpers mit, es begreift sich leicht, daß auf diese Art angeregt eine Uhrfeder von 1, 2 oder 4 Fuß Länge dieselbe Anzahl von Schwingungen machen muß, während sie sich doch verhalten sollte wie 4 zu 2 zu 1. Dies will sagen, wenn die Uhrfeder aus Stahl von ½ Zoll Breite und 48 Zoll Länge 400 Schwingungen in der Secunde macht, so muß die Uhrfeder von derselben Breite und 24 Zoll Länge 800 und die Feder von 12 Zoll Länge 1600 Schwingungen machen, welches aber nicht möglich ist, wenn alle nur diejenigen Schwingungen machen, welche man einer Glocke von 6 Zoll (oder irgend einem andern beliebigen Maße) entlockt.

Fig. 59.



Ein ganz Gleiches scheint es mit der in der Figur angegebenen zweiten Erregungsart zu sein, wo die Feder oder überhaupt die schwache Lamelle an einem schwingenden Stabe a befestigt, sonst wie oben frei auf den Unterstützungspunkt b gelegt ist; für den Stab a kann man sehr gut eine Stimmgabel nehmen, allein hier wie dort wird die Feder nicht ihre eigenen, sondern die Schwingungen des erregten Körpers machen.

Man sieht bei diesem Experimente, welches von Mericourt angegeben worden ist, den Leichtsinn, der sich bei den französischen Experimentatoren nur zu häufig zeigt und deshalb ihre Angaben weniger werthvoll macht, recht deutlich hervortreten. Die einzige Art, eine solche biegsame Lamelle

zum Tönen zu bringen, ist, sie mit zwei Fingern in der Mitte vertical schwebend zu halten und auf die vorhin beschriebene Weise zu streichen oder sie, gleich Saiten, an einem Punkte zu befestigen und sie am andern Ende durch Gewichte zu spannen. Der Ton, welchen unter diesen Umständen Saiten bei verschiedener Spannung geben, ist ganz gleich, im Gegensatz zu den Querschwingungen, deren Häufigkeit und in Folge dessen der Ton steigt, je stärker die Spannung der Saiten ist; bei den Longitudinalschwingungen kann man nur einen Unterschied hervorbringen durch Dämpfung der Mitte als eines natürlichen Knotens, dann erhält man, wie bei Orgelpfeifen, die höhere Octave des Tones, den der longitudinal schwingende Stab gewöhnlich giebt. Ob es nicht möglich ist, die Zahl der Schwingungen durch stärkeres, geschwinderes Reiben zu erhöhen, wie man die Töne eines und desselben Rohres (eines Hornes, einer Orgelpfeife) durch mehr oder minder scharfes Anblasen erhöhen kann, ist noch nicht ermittelt worden.

Savart'sche Klangfiguren.

Wenn man eine Glas- oder Metalltafel in Querschwingungen versetzt, so kann man die Stellen der Ruhelinien durch Sand sichtbar machen (die Chladni'schen Klangfiguren) und man findet, daß sie gleich sind, auf welcher Seite der Scheibe man sie auch machen möge. Nicht so bei den Longitudinalschwingungen.

Wenn man ein Lineal von Eisen, Messing oder Glas, gleichviel wenn es nur eine elastische Substanz ist, flach und horizontal hält, in der Mitte faßt und leicht mit Sand bestreut, darauf aber in Längenschwingungen versetzt, so erhält man die sogenannten Savart'schen Klangfiguren. Die Schwingungen werden hervorgebracht, wenn man mit einem frei in den Fingern gehaltenen Schlüssel an eine der kurzen Seiten des Lineals schlägt, so daß dasselbe einen hohen Ton giebt.

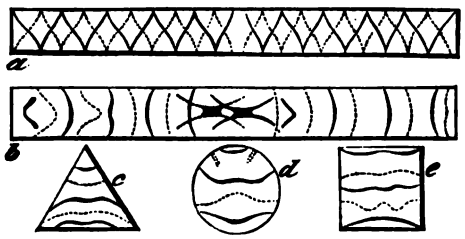
Bei einiger Aufmerksamkeit wird man sehen, wie der Sand auf der Fläche des Lineals keineswegs springt wie bei einer klingenden Scheibe, sondern sich in ganz kurzen Strecken hin und her verschiebt, bis er endlich bei fortgesetztem Schwingen auf Querlinien liegen bleibt. Diese Linien scheinen gerade zu sein, aber schon bei einem Lineal von nur 2 Zoll Breite sieht man, daß sie es nicht sind, sondern eine leichte Neigung zu einem gewundenen Verlauf haben und sich abwechselnd gegen einander neigen.

Bezeichnet man die Stellen, auf denen diese Querlinien von Sand sich angehäuft haben, durch Kreidestriche, und kehrt man nunmehr das Lineal um, das ganze Experiment wiederholend, so wird man die Ruhelinien des

Sandes zwischen die markirten Striche auf der früherhin oberen (jetzt unteren) Seite vertheilt und in ihrer etwas schrägen Richtung entgegengesetzt finden.

Ist das Lineal aber breiter, etwa 4 Zoll auf 2 Fuß Länge, so werden die geraden Linien mit einem Ansatz zur schrägen Neigung in wirklich geschlängelte Linien übergehen, von denen *a* der nebenstehenden Fig. 60 in den ausgezogenen Linien die Abbildung der Knotenlinien der einen Seite giebt, indessen die punktirten Linien die Bogen derselben auf der anderen Seite zeigen.

Fig. 60.



Man bemerkt hier unzweifelhaft den Knotenpunkt in der Mitte des Lineals, von welchem aus die Schwingungen nach entgegengesetzten Seiten, auch in entgegengesetztem Sinne verlaufen.

Fig. *b* zeigt dasselbe Lineal auf die S. 72 angegebene Manier durch eine Glocke, die mit einem Bogen gestrichen wird, zu Longitudinalschwingungen gebracht; auch hier deuten die ausgezogenen Linien die Sandfiguren der einen, die punktirten Linien die der anderen Seite an. Auf den ersten Blick sieht man auch hier die Verschiebung der Figur, sieht also, daß wirklich Längenschwingungen stattgehabt, allein man sieht eben so, daß dieselben ganz anderer Art sind als die obigen, daß sie einen Charakter haben, welcher sie den Transversalschwingungen von Glasscheiben sehr ähnlich macht.

Auf dieselbe Art sind auch die Figuren *c*, *d* und *e* auf Glastafeln von verschiedener Form entstanden. Ob sie als die normalen zu bezeichnen sind, ist jedenfalls fraglich.

Torsionsschwingungen.

Noch eine Art von Schwingungen giebt es, welche betrachtet zu werden verdienten, die Torsionsschwingungen, welche jedoch wegen der Schwierigkeit, sie zu erzeugen, noch nicht gehörig untersucht sind.

Man kann sich alle drei Arten der Schwingungen sehr leicht durch eine solche Springfeder klar machen, wie sie von den Handschuhmachern gebraucht werden, um Strumpfbänder und Tragbänder elastisch zu machen. Befestigt man solche Feder an ihrem einen Ende, so daß sie frei herunter hängt und giebt man ihr ein mäßiges Gewicht zu tragen, welches ihre Elasticitätsgrenze

nicht überbietet, ſo hat man alle Bedingungen zur Sichtbarmachung der drei Schwingungsarten.

Hält man das Gewicht feſt und zieht die Feder von der Mitte aus ſeitwärts, ſo giebt ſie, nach dem Loslaſſen hin und her ſchwankend, ein Bild der Transverſalſchwingungen; ſo bewegt ſich die tönende Contrabaß- oder Clavierſaite, die feinſte wie die gröbſte, ſolche Schwingungen machen auch vibrirende Tafeln.

Hebt man das Gewicht ein wenig und läßt es alsdann los, ſo ſchwankt es bei mehr oder minder geſpannter Feder auf und ab, die Theile der Feder, die einzelnen Windungen derſelben gehen beim Sinken des Gewichtes mehr aus einander und beim Heben deſſelben nähern ſie ſich einander, ſo ſchwingt die Luftſäule in der Orgelpfeife, ſo in der Poſaune und allen anderen Blaſeinſtrumenten.

Wenn man nun aber das Gewicht an der Feder hängen hat, ſo daß die Feder eine ſenkrechte Lage annimmt, und man dreht das Gewicht etwa an ſeinem Stiel wie man einen Kreiſel dreht, ſo entſtehen die Torſionsſchwingungen, die dritte Art. Hier findet ein Aufdrehen ſtatt und darauf ein Zudrehen oder Verkleinern der Windungen, dann wieder ein Auf und Zudrehen ꝛc., bis nach und nach ſich dieſe Schwingungen wie alle andern vermindern und die ſchwingende Feder ſtillſteht. Hat man an Stelle der Feder eine Saite genommen, ſo geſchieht Alles daſſelbe, nur ſind die Longitudinalſchwingungen daran nicht zu zeigen, obſchon ſie ſtattfinden. Bei Torſionsſchwingungen wird eine Saite raſcher wirken als eine Feder, allein auch ſchneller zur Ruhe kommen.

Die franzöſiſchen Gelehrten glauben auch in breiten Blättern von elaſtiſchen Subſtanzen Torſionsſchwingungen erregen zu können, wenn ſie dieſelben mit dem Violinbogen querüber ſtreichen, wie man eine Saite ſtreicht. Unzweifelhaft iſt, daß durch den Bogen bei einer Darmſaite neben den Transverſalſchwingungen auch beginnende Torſionsſchwingungen erzeugt werden, wie es bei der runden Form der Saiten, welche auf einer Stelle der Circumferenz gefaßt werden, nicht anders ſein kann, allein bei einer flachen Lamelle, bei einem mit einem Ende eingeſpannten Lineal findet dies um ſo weniger ſtatt, je breiter es iſt und je beſſer man parallel mit der breiten Fläche querüber ſtreicht, es werden nur Transverſalſchwingungen in einem anderen Sinne gemacht, nämlich nicht ſenkrecht auf die Fläche des Lineals, wie gewöhnlich, ſondern in der Ebene dieſer Fläche; daß es ſo ſei, zeigen auch die von Chladni nachgewieſenen Klangfiguren. Streicht man ein Lineal auf die angegebene Art, nachdem es mit Sand beſtreut worden, ſo erhält man eine ſchmale Linie, welche durch die Mitte des ganzen Lineals

läuft (wovon daſſelbe ſei, Glas, Metall, Holz ꝛc., iſt gleichgültig). Wären die Schwingungen drehend, ſo müßte der Sand von der Mitte nach den Rändern geſchleudert werden (vermöge der Centrifugalkraft) und, da an dieſen kein Haltepunkt, da keine Schranke längs derſelben befindlich, ſo müßte der Sand von dem Stabe hinweggefegt werden.

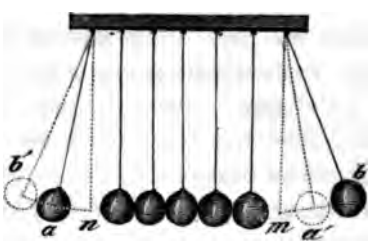
Verbreitung des Schalles.

Der Schall verbreitet ſich ſtrahlenförmig von dem Punkte der Erregung aus nach allen Seiten. Tönen Glocken auf einem Thurm, ſo hört man dieſelben 200 Fuß über dem Thurm ſo gut als 200 Fuß unter dem Aufhängungspunkte, und rechts und links, vorwärts und rückwärts in der horizontalen Ebene, in welcher die tönenden Körper ſich befinden, iſt die Verbreitung eben ſo wie in den beiden andern Richtungen.

Es werden durch den tönenden Körper, welcher nur tönt, weil er in Schwingung iſt, dieſe Schwingungen der Luft mitgetheilt und die nächſten Lufttheilchen ſchicken die empfangenen Stöße mit einem „gieb's weiter" immer fort, jedes Theilchen nach derjenigen Richtung, in welcher es den Stoß empfangen hat. Nachdem es den empfangenen Stoß abgegeben, kehrt es in ſeine urſprüngliche Lage zurück.

Die Geſchwindigkeit der Verbreitung des Schalles in der Luft iſt ſehr groß, allein in feſten Körpern iſt ſie noch größer. Wie die Verbreitung ſtoßweiſe und wie ſchnell ſie geſchieht, davon kann man ſich ein anſchauliches Bild durch die ſogenannte Percuſſionsmaſchine machen.

Fig. 61.



Sieben Billardkugeln (oder 500, ſo viel man will) hängen an vollkommen gleich langen Fäden an einem horizontal geſtreckten Balken, ſo daß ihre Mittelpunkte ſämmtlich in einer geraden Linie liegen.

Die Zeichnung giebt das Experiment ſchon im Werden, die abgetrennten Kugeln *b* und *b'* haben urſprünglich die Lage der punktirten Linien *m* und *n* gehabt. Eine dieſer beiden Kugeln *b* iſt durch die Hand des Experimentators von *m* nach *b* gehoben worden, nun läßt derſelbe ſie los, ſie fällt auf den durch den Faden vorgeſchriebenen Weg, bis ſie in *m* zur Ruhe kommt. Dieſe Ruheſtelle aber erlangt ſie nur dadurch, daß ſie

den Weg *bm* mit beschleunigter Bewegung zurücklegte und nun plötzlich auf ein Hinderniß stößt, auf die vor ihr hängende Kugel.

Dieser zweiten Kugel giebt sie ihre ganze Bewegung ab und die zweite eilt mit derselben fort auf die dritte zu, da diese jedoch bereits mit ihr in Berührung ist, so kann sie nichts weiter thun als sich zusammendrücken (als elastischer Körper) so gut wie die an sie stoßende Kugel, diese wird nun natürlich den empfangenen Stoß der nächsten Kugel weiter und diese wird ihn abermals weiter geben, bis die sechste ihn endlich der Kugel *n* übergiebt. Diese siebente letzte findet nichts mehr hinter sich, sie empfängt also den Stoß, ohne ihn weiter geben zu können, sie muß ihn behalten und sie geht in Folge dessen so weit aufwärts (bis *b'*), als die erste Kugel abwärts gefallen war.

Hätte man die Kugel *n* nur bis *a* empor gehoben und dann gegen die übrigen fallen lassen, so würde die Kugel *m* auch nur bis *a'* geschoben worden sein.

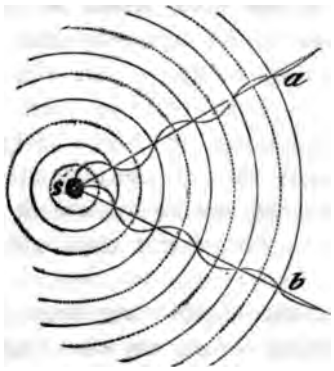
Ist die Elasticität der Kugeln vollkommen, nicht mehr oder minder groß, sondern sind sie vollständig elastisch, so bedarf es zum Durchlaufen der Strecke von *b* nach *b'* gar keiner Zeit, wie groß die Strecke auch sein möge, die Zeit aber, welche dennoch verwendet wird, ist ein Maß der Elektricität. Legt der elastische Fortpflanzungsstoß in einer Secunde eine Meile zurück, so ist der Körper, in dem dies geschieht, sehr viel elastischer als ein anderer, in welchem die Fortpflanzung des Stoßes während derselben Zeit nur 1000 Fuß beträgt, umgekehrt ist jenes Körpers Elasticität viel geringer als die eines andern, der 40,000 Meilen in der Secunde zurücklegt; diese bis jetzt bekannte größte Schnelligkeit der Fortpflanzung hat der Aether, er giebt die Schwingungen und Stöße des Lichtes in einer Secunde 40,000 Meilen weiter, jene langsamste Verbreitungsweise hat die Luft, Erschütterungen derselben, die wir Schall nennen, durchlaufen etwas über 1000 Fuß, 1040, 1050, ja am Meeresstrande in der heißen Zone sogar 1100 Fuß in der Secunde.

Wellenschwingungen.

Sehen wir in der Fig. 62 auf der folgenden Seite eine Wasserfläche, in welche ein Stein *s* geworfen worden, so wird derselbe da, wo er hinfällt, einen Druck auf das Wasser ausüben. Dies weicht aus und steigt rund herum in einem Wellenberge von Kreisform empor, die geschlängelten Linien *sa* und *sb* geben den Durchschnitt einer solchen Linie, die geraden Linien

sind das Niveau der Wasserfläche und die erste Biegung bei *s* geht in dem möglichst kleinsten Kreise dicht um den fallenden Stein vor sich.

Fig. 62.



Wie die Welle sinkt und sich wieder hebt, kreisförmig wie sie ist, nimmt sie einen immer größeren Raum ein, sie ist daher bei dem nächsten Wellenberge nicht viel mehr als halb so hoch, wie bei *s* und an der Genze unserer Zeichnung bei *a* und *b*, woselbst sich der dritte Wellenberg befindet, erreicht die Höhe desselben kaum noch ein Drittel von der ursprünglichen, dehnt sich aber noch auf einen neunmal größeren Flächenraum aus.

Ganz so wie hier die Wellen einer Wasserfläche, so breiten sich die Wellen einer erschütterten Luftmasse nach allen Richtungen aus und die Zeichnung Fig. 62 konnte als der Durchschnitt einer beliebigen kugelförmigen Luftmasse, in deren Mitte eine Schallwelle erregt worden ist, angesehen werden, nur daß die Wellen nicht auf- und absteigen, sondern wie bei den Billardkugeln vor- und zurückschreiten. In der Anlage des Bildes aber spricht sich sofort eine Wahrheit unwiderleglich aus, derselbe Effect, welcher sich in der ersten Welle zeigt, ist auch in der zweiten und dritten vorhanden, allein so wie ein Schrotschuß auf 10 Schritte wie eine Kugel wirkt, auf 20 eine Fläche wie eine Hand und auf 50 Schritte eine Fläche wie ein Papierbogen bedeckt und die einzelnen Körner dann kaum so tief in das Holz dringen, um ganz darin versenkt zu werden, indeß sie auf geringere Entfernung (doch nur einzelne Körner und nicht mehr oder weniger als am Ende der Bahn) ein starkes Brett durchbohren, so ist die Wirkung des Schalles immer schwächer, je minder man sich von dem Ursprungsorte desselben entfernt und zwar ganz aus demselben Grunde, weil immer weniger Theile der erregten Wellen einen und denselben Punkt (hier das Trommelfell) treffen.

Vermag man die Schrotkörner zusammenzuhalten (indem man sie wie die Shrapnells in einer Patrone vereinigt), so bohren sie auch noch auf 100 Schritt ein Loch in das Brett, denn die Gesammtmasse wirkt auf einen Fleck, sie ist nicht zerstreut; so auch mit dem Schall, vermag man ihn zusammenzuhalten, vermag man seine Verbreitung nach allen Richtungen zu

hindern und in einer Richtung zu vereinen, so schwächt sich der Ton auch nicht und das Ticken einer Uhr wird alsdann auf Meilenweite gehört.

Der Leser möge nicht glauben, daß dies so in den Tag hineingesagt ist, es sind Versuche ausgedehntester Art gemacht, von welchen obige Angabe entnommen ist.

Schallleitung in Röhren.

Um den Schall zusammenzuhalten, bedient man sich der Röhren. In großen Fabrikgebäuden werden dergleichen Sprachröhren angewendet, um Befehle, Anordnungen zu ertheilen, allein das ist nicht meilenweit. Mit den Wasserleitungsröhren von Marly und den Gasleitungsröhren von Paris hat Biot solche Versuche angestellt und mittelst derselben die Geschwindigkeit des Schalles auf das Genaueste gefunden und festgestellt, wie wenig der Schall in festen geraden Röhren sich vermindert. Sind diese Röhren glatt, so ist der Verlust beinahe auf Null zu setzen.

Auf der Insel Wight, in Carisbrook Castle bei Newport befindet sich ein 210 Fuß tiefer Brunnen, welcher 12 Fuß weit, also sollte man meinen, keineswegs zu einem Sprach- oder Hörrohr eingerichtet ist. Wenn man in diesen Brunnen eine Stecknadel fallen läßt und sie trifft nicht mit der Spitze auf die Wasserfläche (da sie dann allerdings lautlos versinkt), sondern mit einer langen Seite, so hört man den Schall, den dies verursacht, ganz deutlich. Durch einen starken Schall wird die Luft in einer dem Schall ausgesetzten Röhre zusammengedrückt, daß mechanische Wirkungen daraus hervorgehen. In der Nähe einer der 3000 Fuß langen Wasserleitungsröhren von Marly wurde ein Pistol abgeschossen (nicht mit der Mündung auf die Röhre gerichtet); der Druck der dadurch an einem Ende zusammengepreßten Luft war so stark, daß am anderen Ende ein Licht ausgeblasen und in der Mündung der Röhre aufgehäufte Papierschnitzel fortgeweht wurden. Diese Leitungsfähigkeit der Röhren für den Schall macht es gefährlich, in einer Küche Geheimnisse auszuplaudern, sie können drei Stockwerk höher sehr wohl gehört werden, eine Bemerkung, welche Strafgefangenen nicht entgangen ist, die ihre Conspirationen gewöhnlich durch Vermittelung der Oefen und der Rauchfänge weiter verbreiten.

Fortpflanzung des Schalles in freier Luft.

An freier Luft ist dies ganz anders, da bleibt der Schall nicht gleich stark, er wird mit jedem Schritt, den man sich von dem tongebenden Körper

entfernt, schwächer und zwar genau in dem Grade, wie der Raum wächst, den derselbe Ton erfüllen soll.

Da aber die Töne sehr verschieden sind, so wird es auch wahrscheinlich auf die Art derselben ankommen, man wird die eine Art von Ton weiter hören als die andere. Vor allen Dingen ist es die Stärke des fortgepflanzten Schalles und die Beschaffenheit des schallleitenden Mittels, welche von Einfluß sind. Dove hat einige der interessantesten Thatsachen mitgetheilt, deren wir hier erwähnen müssen.

Daß eine Kirchenglocke stärker tönt und daher weiter vernommen wird als eine Klingel, daß ein Kanonenschlag in größerer Entfernung vernommen wird als ein Flintenschuß, muß ein Jeder begreiflich finden, denn die momentane Erschütterung der Luft ist im ersten Falle viel bedeutender als im letzteren. Während der Kanonendonner die Fenster zersprengt, während eine Infanteriesalve eine Lavine ablösen kann, vermögen die größeren vulkanischen Eruptionen noch viel bedeutendere Wirkungen hervorzubringen.

Bei dem Ausbruche des Vesuv am 23. und 24. October 1822, wo die Aschensäule nach Brioschi's Messung eine Höhe von 9000 Fuß erreichte, waren die Detonationen im Innern des Vulkans so stark, daß die bloße Erschütterung der Luft die Decken im Palaste von Portici sprengte. Darf man sich da wundern, daß, als am 30. April 1812 der Morne Garu auf St. Vincent aufbrach, ein furchtbares Getöse in allen Theilen einer Landstrecke von 2200 geographischen Quadratmeilen, bis zum Rio Apure, d. h. so weit wie vom Vesuv nach Paris, Schrecken verbreitete und daß 1835 das Brüllen des Conseguina in Kingston, San Salvador, Balize, St. Marta und St. Fé de Bogota, also in einem Abstande von 200 deutschen Meilen von dem Vulkan so deutlich gehört wurde, daß man es für den Kanonendonner einer Seeschlacht hielt?

Das Bombardement von Kopenhagen wurde am 2. und 5. September 1807 in Kolberg gehört; diese Entfernung beträgt 38 Meilen. Auf der Hube von Eimbeck hörte man die Schüsse von Mainz 33 Meilen weit, in Hannover Schüsse von Helgoland 35 Meilen, in Shrewsbury und Wales durch England hindurch auf mehr als 40 Meilen die Seeschlacht zwischen den Engländern und den Holländern im Jahre 1762. Ja am 4. December 1832 will man den Kanonendonner von Antwerpen im Erzgebirge, in einer Entfernung von 80 Meilen, gehört haben.

Von der ursprünglichen Stärke eines Schalles kann man sich einen Begriff machen, wenn man hört, welches andere Geräusch dadurch verdeckt wird.

Als am 10. August 1831 ein furchtbarer Sturm das blühende Bar-

baues verwüstete, war das Heulen des Orkans, der von Nord-West hereinbrach, so entsetzlich, daß keine Sprache es zu beschreiben vermochte. Obristlieutenant Nickle, Befehlshaber des 36. Regiments, hatte unter einem gewölbten Fensterbogen eines Hauses nach der Straße hin Schutz gesucht und hörte wegen des Sturmes nicht das Einstürzen des Daches und des oberen Stockwerkes desselben Hauses. Die festesten Gebäude erbebten in ihren Grundmauern, ja die Erde selbst zitterte, als der Zerstörer über sie hinwegschritt. Kein Donner war zu hören, denn das gräßliche Geheul des Windes, das Brausen des Oceans, dessen mächtige Wellen Alles zu zerstören drohten, was die anderen Elemente etwa verschonen möchten, das Geprassel der Ziegel, das Zusammenstürzen der Häuser und Mauern und die Vereinigung von tausend andern Tönen bildete ein Entsetzen erregendes Geräusch. Wer fern war von dieser Schreckensscene, sagt der Berichterstatter, kann keine Vorstellung haben von den Empfindungen, die sie erregte.*)

Einfluß der Beschaffenheit der Luft.

Weniger intensives Geräusch wird natürlich nur in geringerer Entfernung gehört, ein Flintenschuß auf 8000 Schritt, gewöhnliches Sprechen wird auf 70 Fuß noch deutlich vernommen, weswegen ein Theater etwa 2000 Zuhörer fassen kann; eine starke Männerstimme auf 400 Schritt, aber viel weiter auf glatten spiegeluden Flächen, über Wasser oder Eis, als über Land; in der Winternacht der Polarländer, wo alles Leben in tiefem Todesschweigen erstirbt, noch viel weiter.

So erzählt Lieutenant Forster, daß er bei der dritten Parry'schen Reise über die Eisfläche von Port Bowen mit einem Matrosen eine Unterhaltung auf 6697 Fuß Entfernung führen konnte. Am 11. Februar hörte Parry aus einer ähnlichen Entfernung einen Mann beim Gehen vor sich her pfeifen. Gespräche zweier mit einander gehender Matrosen, welche sie in der Entfernung einer englischen Meile mit einander geführt hatten, wurden ihnen zu ihrem Erstaunen bei ihrer Rückkehr nach dem Schiffe wiedererzählt.

Einen wesentlichen Einfluß aber hat auf die Fortpflanzung des Schalles durch die Luft die Beschaffenheit derselben. Ob sie trocken, neblig oder nur feucht ist, ob sie kalt oder warm, ob der Barometerstand hoch oder niedrig, ob gar Regen oder Schnee in der Luft, dies Alles ist von großem Einfluß

*) Dove a. a. O. S. 21.

auf die Beförderung der Schallwellen, und von solchen Umständen rührt es wieder her, daß intensives Geräusch in geringen Entfernungen nicht gehört wird. Dove hat einige der interessantesten Fälle zusammengetragen.

Bei Cassano an der Adda, wo der Herzog von Vendome den Angriff des Prinzen Eugen abschlug, entschuldigte sich der mit einem Armeecorps zwei Stunden abwärts davon an diesem Flusse zu Rivolta postirte Großprior, Bruder des Herzogs, ihm nicht zu Hülfe geeilt zu sein, damit, daß er keinen Kanonendonner gehört habe, wobei er die ihn begleitenden Officiere zu Zeugen aufrief. Diese Schlacht fand am 15. August Nachmittags zwischen 3 und 5 Uhr statt.

Bei Montereau, wo der damalige Kronprinz von Würtemberg (der jetzige König) das Schlachtfeld von Morgens um 10 Uhr bis Abends um 5 Uhr gegen Napoleon behauptete, dann aber zum Rückzuge genöthigt wurde, und wo ein Feuer von mehr als 100 Geschützen stattfand, wurde dieses aufwärts an der Seine zu Brey vom Fürsten Schwarzenberg und seinem Stabe in einer Entfernung von $4\frac{1}{2}$ Lieues nicht gehört. Der Mittags dorthin abgeschickte preußische Officier hörte es erst in der Entfernung einer deutschen Meile. Der 18. Februar 1814, an welchem sich dies ereignete, war ein für die Jahreszeit heiterer, milder und windstiller Tag.

Bei der Schlacht bei Liegnitz am 15. August 1760 hörte der auf der Höhe bei Weißenhoff campirende Feldmarschall Daun nichts von dem nur eine Meile entfernten Geschützdonner der Schlacht, in welcher Loudon bei Pfaffendorf von Friedrich dem Großen geschlagen wurde. In derselben Gegend hat Dove von der Schlacht an der Katzbach nicht einen Schuß gehört, den Kanonendonner der Schlacht bei Bautzen aber sehr deutlich aus 18 Meilen Entfernung.

In dem letzten Kriege der Engländer und Amerikaner standen die durch einen Fluß getrennten Vorposten derselben einander so nahe, daß sie sich deutlich erkennen konnten. Der Boden war mit frisch gefallenem Schnee bedeckt. Vom englischen Ufer aus sah man einen amerikanischen Trommler deutlich trommeln, hörte ihn aber nicht, wie Brewester in seinen Briefen an Walter Scott über natürliche Zauberei erzählt.

Schall bei Gewitterluft.

Dem chinesischen Kaiser Kang-hi verdankt man nach Klaproth's Untersuchungen die interessante Bemerkung, daß die größte Entfernung, in welcher man den Donner hört, 5 Meilen sei, während Kanonenschüsse

15 Meilen weit gehört werden. Es ist thatsächlich so, nur werden Donnerschläge im äußersten Falle kaum so weit gehört, Kanonenschüsse jedoch viel weiter.

Ein furchtbarer Blitz und ein erschütternder Donnerschlag traf und zerstörte den Kirchthurm von Lestwithiel am 25. Januar 1757. Der Ingenieur Smeaton, zwei Jahre später als der Erbauer des Leuchtthurms von Eddystone berühmt, sah diesen Blitz aus einer Entfernung von 6 deutschen Meilen ganz genau, hörte aber durchaus keinen Donner. Jedoch mag bei dieser Angabe ein Irrthum stattfinden, denn 6 Meilen ist eine Entfernung, bei welcher der Bogen, den die Figur der Erde dazwischen legt, schon sehr bedeutend ist, so daß er wohl schwerlich den Thurm und den Blitz, der ihn traf, sehen konnte.

Ein Anderes ist es mit Entfernungen von 4 und 5 Lieues. Musschenbroek berichtet, daß ein starkes Gewitter, welches Grafenhag verwüstete, weder in Leyden noch in Amsterdam gehört wurde. Paxton erzählt von einem Wetterschlage, von welchem am 2. März 1769 die Zinne des Thurmes von Bukland Brewer herabgeworfen wurde und der so stark gewesen wie eine Geschützsalve von 100 Kanonen, dennoch wurde von demselben in $10\frac{1}{2}$ engl. Meilen Entfernung nichts gehört.

Die Frage, woher diese Verschiedenheit komme, wird von der Physik leicht mit dem Worte „heterogen" beantwortet. Die Luft, welche der Schall leiten soll, muß „homogen", gleichmäßig sein, ist sie es nicht, ist sie aus heterogenen Bestandtheilen zusammengesetzt, so pflanzt sie den Schall schlecht fort. Dove führt in seiner geistreichen Auffassungs- und Vergleichungsweise eine Menge von Beispielen für ähnliche Vorgänge an. Wasser, Eis, Bergkrystall, obwohl vollkommen durchsichtig, werden, wenn sie mit Luft, einem gleichfalls durchsichtigen Körper, gemischt sind, undurchsichtig, als Schaum, Nebel, Schnee, Sand; denn da an der Grenze zweier Medien stets ein Theil des Lichtes reflectirt wird, so schwächt es sich im Verhältniß der häufigen Abwechselungen beider durchsichtigen Bestandtheile. Dasselbe gilt vom Schall, wie Versuche im Genfersee gezeigt haben; im Wasser erregt, wird der Schall schwach in der Luft vernommen, in der Luft erregt, erscheint er sehr schwach innerhalb des Wassers.

Darin liegt unmittelbar der Grund für das häufig beobachtete Phänomen des Verschwindens alles Schalles und Klanges im Schneegestöber. Der Nachfolger hört oft die Schellen des Schlittengeläutes seines Vormannes nicht, der Führer in Gebirgsgegenden schreitet auf den ihm bekannten Wegen auch durch den dichtesten Nebel rüstig voran, allein die Reisenden, die er führen soll, sehen ihn nicht und hören seine rufende Stimme

nicht. So lange der Champagner mouſſirt, klingt das Glas beim Anſtoßen wie ein Topf; erſt wenn keine Kohlenſäure ſich mehr entwickelt, tritt mit dem Durchſichtigwerden des Weines zugleich der reine Klang hervor.

Unruhige Luft.

Daß ein Durchſichtigwerden der Luft ſie zugleich tauglich zur Fortpflanzung des Schalles mache, wird ferner dadurch beſtätigt, daß Bergbewohner eine Veränderung der Witterung ankündigen, wenn bei ruhiger Luft plötzlich die Schneeberge dem Beobachter näher zu ſtehen ſcheinen und ihre Umriſſe gegen den blauen Himmel mit ungewöhnlicher Schärfe zeigen. Dies Durchſichtigwerden der Luft, ein Anzeichen eintretenden Regenwetters, erklärt ſich dadurch, daß der in der Luft ſchwebende Staub bei vermehrter Feuchtigkeit dieſe anzieht und dadurch ſchwerer werdend herabſinkt. Aber die Bergbewohner ſagen dann auch: „es wird regnen, denn man hört das Rauſchen der Ströme näher.“

An heiteren Wintertagen, wenn die Sonne aber bereits Kraft gewonnen hat, iſt die Luft oft höchſt durchſichtig und doch iſt es nicht möglich, ein telegraphiſches Zeichen auch nur durch einige Stationen hindurchzubringen. Dieſe Winterconſtitution nennen die Aſtronomen unruhige Luft. Ein Stern geht dann nicht ſtetig am Horizontalfaden des Fernrohrs fort, ſondern er hüpft herauf und herunter. Solche Luft iſt nämlich eine Vermengung warmer aufſteigender und kalter herabſinkender Luft; der Weg des Lichtes ändert ſich daher, je nachdem er dieſe oder jene trifft.

Man kann dies Experiment in einem Weinglaſe machen, wenn man daſſelbe voll blanken Weines gießt und ein Stück Zucker, in einem Löffel an der Oberfläche des Weines gehalten, darin zergehen läßt. Das Waſſer des Weines löſt den Zucker auf und ſinkt mit demſelben beladen in der noch nicht durch Zucker verſüßten Weinmaſſe nieder. Ein fernſtehendes Licht durch ein ſolches Glas Wein betrachtet, flimmert unruhig hin und her, der Wein ſelbſt aber befindet ſich, bis Alles aufgelöſt iſt, in dem Zuſtande der Atmoſphäre, der oben beſchrieben worden, das ſchwere Zuckerwaſſer ſinkt in Fäden nieder, das leichtere, ungezuckerte ſteigt an demſelben vorbei aufwärts. Man ſieht dies bei einer Flüſſigkeit ganz deutlich, weil die gezuckerte die Lichtſtrahlen ganz anders bricht als die ungezuckerte.

Schall bei Nacht.

Man sieht dies auch an der Luft an einem heiteren Frühjahrsmorgen, wenn die Sonne den noch kalten Erdboden zu durchwärmen und von ihm die erwärmte Luft aufzusteigen beginnt, für Jeden, der nur einigermaßen sehen, seine Sinne brauchen kann, ganz unverkennbar. Durch solche Luft pflanzt sich auch der Schall so wenig deutlich fort, als das Licht und zwar aus derselben Ursache und dies erklärt auch die bedeutende Zunahme des Schalles bei Nacht.

Es scheint auf der Hand zu liegen, daß diese weitere Fortpflanzung lediglich darauf beruhe, daß während der Nacht kein Lärm im Allgemeinen vorhanden ist, man daher den einzelnen Ton besser vernehmen müsse. Dies Geräusch ist bei Annäherung an große Städte so sehr zu bemerken, daß Personen, welche noch nicht viel gereist sind, befremdet nach der Ursache des Spektakels fragen. Nähert man sich einer Stadt wie Berlin oder Wien um 9 oder 10 Uhr Abends, so glaubt man einen Bienenschwarm zu hören; solch ein Gesumme wird aus dem Rasseln, Rumpeln, Klappern, Schreien und all den hundert andern Geräuscharten, welche da durch einander tönen, und dieses Geräusches wegen hört man innerhalb der Stadt vieles Einzelne von den Tönen nicht, gerade wie man eine Vorlesung nicht hört, wenn ein Wagen bei dem Saale, in dem sie gehalten wird, vorbeifährt, deshalb man auch Concert- und Schauspielsäle so in das Innere der Gebäude legt, daß sie rundum von Corridors und Zimmern umgeben sind und keine Fenster nach der Straße haben, was allerdings mit Kirchen und Auditorien nicht thunlich, da dieselben Tageslicht brauchen.

Hört dieser allgemeine Lärm auf, so vernimmt man Laute, von denen man vorher gar keine Ahnung hatte. Spät in der Nacht, wenn der Lärm der Straßen schweigt, hört man z. B. auf Thürmen, wie etwa der der Sternwarte in Leipzig oder Breslau, oder wie der Thurm, welcher die ehemalige Berliner Sternwarte trug, die Gespräche der Nachbarsleute und der Anwohner nicht bloß in den Dachfenstern, sondern in den Höfen der nicht zu fern stehenden Häuser und kann auch, ohne von einem Diable boiteux geführt zu sein, hinter mancherlei Geheimnisse kommen. Dieses Lärmens wegen mußte auch Biot seine Versuche über die Fortpflanzung des Schalles in den großen Gasleitungsröhren von Paris in denjenigen Stunden machen, in denen Paris schläft, nicht Nachts um 10 Uhr, sondern Morgens um 10 Uhr.

Unglaubliche Entfernungen der Schallverbreitung.

Es scheint also überflüssig, noch eine andere Ursache — warum man bei Nacht weiter hört als bei Tage — zu suchen, allein es muß doch noch etwas Anderes da sein. Wir haben in unsern mittleren Breiten, in jedem Lande, ja in jeder Provinz jeden Landes Strecken, die, dem Acker- oder Wiesenbau übergeben, wohl geräuschloser sind als die kleinste Landstadt zwei Stunden nach Mitternacht, und doch hört man in solchen Ebenen, auf Ackerfeldern, auf Wiesen ꝛc. während des Tages nicht weiter als man in der Nähe einer Stadt hört, indessen der Ruf der Patrouille, der Vorposten sich bei Nacht auf Meilenweite vernehmen läßt, ja der Verfasser hat etwas erlebt, das wunderbar genug ist, um Zweifel zu erregen und das doch vollkommen wahr ist.

Befreundet mit dem damaligen Gouverneur der kleinen, durch den Dichter Schubert berühmt gewordenen Festung Hohenasperg, befand sich der Verfasser während einer schönen, überaus milden Sommernacht in dem Garten desselben, welcher, auf der Höhe des Walles gelegen, dem Schalle von allen Seiten Zutritt gewährte. Unter heiteren Gesprächen war Mitternacht herangerückt, einige Secunden lang herrschte, wie das wohl so geht, eine völlige Stille in der Gesellschaft. Plötzlich hörte man deutlich den Ruf des Nachtwächters in Stuttgart, welches vier volle Wegstunden, in gerader Richtung wenigstens zwei deutsche Meilen von der Höhe entfernt ist. Wir sahen uns Alle erstaunt an, es waren nicht die Worte, welche man sprechen hörte, wohl aber war es unzweifelhaft die Melodie und der Rhythmus des Allen wohl bekannten Nachtwächterliedes der Residenz — es war nicht der Wächter des ½ Meile entfernten Ludwigsburg, dieser hätte kein Erstaunen erregt, denn ihn hörte man jede Nacht — jenes aber war doch mehr als irgend Jemand für möglich gehalten hätte, und es war eine Thatsache, die sich selbst kein Mitglied der Gesellschaft ableugnete.

Glaubt man nun etwa, die Aecker, die Ländereien eines wohl bevölkerten Staates seien nicht am Tage geräuschlos, weil doch Dörfer und Städte überall wenigstens in Meilenweite zu finden sind, so wird man zugeben, daß die Ebenen von Südamerika und die Waldstrecken daselbst gewiß ruhig genug sind, wo der Wanderer 50 und mehr spanische Meilen nach jeder Richtung zu gehen hat, bevor er ein Indianerdorf oder eine Missionsstation findet.

Humboldt erzählt, daß man das Rauschen der Wasserfälle des Orinoco in Entfernung einer französischen Meile noch so laut höre, daß man

glaubt, sich in der Nähe einer felsigen Küste zu befinden, an welcher das Meer laut brandend sich bricht. Hier wo nichts die lautlose Stille der Einöde unterbricht, kann alle der Tageslärm nicht die Rede sein, und wenn man etwa glaubt, das Gezwitscher der Vögel, das Summen der Insekten, das Brüllen der größeren Thiere, das Geschrei der Affen dürfte diese „lautlose Stille" doch sehr unterbrechen, so irrt man, was den Tag betrifft vollständig, denn der Tag ist die Schlafzeit für diese Thiere der heißen Zone, in der Nacht aber hört man einen besonders in der Nähe der Wälder durch das betäubende Geschrei der Brüllaffen so entsetzlichen Lärm, daß man in der Nähe sein eigenes Wort nicht versteht, und trotz dieses weit wahrnehmbaren Lärms bei nächtlicher Weile hört man das Geräusch der Brandung des Ozeans mehr als drei Ma. so weit als am Tage.

Der Grund dieser Erscheinung ist also nicht den Schall einzelner Klänge bedeckendes, allgemeines Geräusch, wohl aber ist es die bereits angeführte ungleiche Erhitzung der Luft, durch welche der Schall sich fortpflanzen soll. Diese ist bei Wiesen ganz anders als bei Ackerfeld und hierbei anders als bei öden Sandsteppen, der Rasen der Planes wird am Nachmittage 50 Grad warm, der Granit, welcher in ungeheuren Bänken zu Tage ausgeht, wird 48 Grad warm, die den Schall leitende Luft hat wieder andere Temperaturen und ein stetes Vermengen der auf so verschiedene Weise erwärmten Antheile der Atmosphäre bringt eine Heterogenität hinein, welche es nothwendig macht, daß da, wo zwei verschieden temperirte Luftmassen einander begegnen, ein Theilen der Schallstrahlen nach verschiedenen Richtungen stattfindet, und da dieses in so verschieden gemischten Luftmassen sehr oft geschieht, so ist eine Verringerung der Fortpflanzung ganz begreiflich. Während des Gewitters aber kommt noch ein dritter Umstand hinzu, es wechseln da nicht nur warme und kalte Luftströme, durch Windstöße unregelmäßig gemacht, auf die mannigfaltigste Weise mit einander ab, sondern es strömt auch Regen herab in großen und in kleinen Tropfen, es kommt auch wohl Hagel dazu und so ist denn für möglichst ungleiche Zusammensetzung der Luftmasse und folglich für möglichst schlechte Verbreitung des Schalles gesorgt.

Einfluß der Dichtigkeit der Luft.

Zu der Schwächung des Schalles des Donners trägt wesentlich noch bei, daß es bei Erregung eines Tones darauf ankommt, wie dicht die den Schall fortpflanzende Luft sei, in welcher er erregt wird. Nun ist in höheren Regionen die Luft viel dünner als am Erdboden, daher der Schall

dort an sich schwächer und nur diesen schwächeren Schall pflanzt die Luft fort. Ein Schuß im Thale abgebrannt, wird auf dem Berge wohl gehört, denn die Wellen des dichteren Mediums setzen die des dünneren in Bewegung; ein gleich starker Schuß auf dem Berge gelöst, wird im Thale nicht vernommen, weil die sehr viel dünnere Luft, in welcher der Schall entstand, die viel schwerere im Thale nur nach Maßgabe ihrer verschiedenen Massenhaftigkeit bewegen kann, der Schall an sich ist oben viel schwächer; wie unter der Glocke einer Luftpumpe nach und nach der Ton eines Uhrwerkes immer schwächer wird, bis er beim völligen Entleeren endlich ganz verschwindet, so auch der Ton auf hohen Bergen; schon auf dem Montblanc hörte Sauſſure den Knall einer tüchtigen Pistole so schwach, als hätte man ein kleines Terzerol abgebrannt, könnte man auf den Gipfel des Dhawala Giri gelangen, so würde man dort den Pistolenschuß vielleicht nur vernehmen wie das Klatschen einer Peitsche.

Bedenkt man diese sowohl erfahrungsmäßige als experimental nachgewiesene Schwächung des Schalles in hohen Regionen, so sollte man sich vielmehr wundern, daß man den Donner so weit hört, als umgekehrt und man kann daraus auf die Stärke desselben schließen. Welche ungeheure Intensität muß daher die Explosion der Meteore haben, bemerkt Dove, welche wir unter dem Namen Feuerkugeln kennen und aus denen die Meteorsteine herabfallen. Das vom Jahre 1719 ertönte bei einer Höhe von 14 Meilen wie ein schwerer Kanonenschuß und erschütterte Thüren und Fenster, das vom Jahre 1756 warf in Aix in der Provence einige Schornsteine herab.

Auf die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalles hat die größere oder geringere Dichtigkeit der Luft jedoch keinen Einfluß, sondern es pflanzt sich bei gleichen Temperaturen der Schall von dem Thale aus nicht schneller fort als von dem Berge zum Thale, wie Versuche durch Stampfer und Myrbach in der Nähe von Salzburg bei einem Höhenunterschiede von 4200 Fuß dargethan haben. Es ist dies auch ganz natürlich, und sollte man sich billig wundern, daß wissenschaftliche Leute solche Versuche anstellen, geht der Schall wirklich in dünner Luft langsamer als in dichter, so ist die Summe doch dieselbe, d. h. es ist ganz einerlei, ob man mit zunehmender oder mit abnehmender Geschwindigkeit einen Weg zurücklegt, wenn Zu- und Abnehmen in beiden Fällen nur gleich ist. Genau wie bei der Pendelschwingung verhält es sich auch hier. Wenn man einen langen Faden mit einer Bleikugel an einem Ende oben befestigt, aus der senkrechten Lage bringt und nun losläßt, so ist der Zeitraum, in welchem die Kugel mit stets wachsender Geschwindigkeit bis zu senkrechter Lage

gelangt, genau eben so groß als der Zeitraum, der sie braucht, um aus dieser Lage aufsteigend bis zu dem Punkt zu gelangen, von welchem sie wieder umkehrt.

Solche Versuche wie die bei Salzburg angestellten beweisen also nichts. Die mögliche Verschiedenheit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Luftschichten verschiedener Dichtigkeit kann nur so ermittelt werden, daß man auf einer ebenen Strecke im Thal, und auf einer ebenen Strecke auf dem Gebirge Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit macht. Hier würde sich wahrscheinlich sogar ein Unterschied ergeben, denn dies steht fest, daß sich der Schall in dichteren und elastischeren Körpern besser, viel schneller fortpflanzt als in weniger elastischen; nun ist aber die Elasticität der Luft eine Function ihrer Dichtigkeit, oder der Wärme, welche auch auf den Höhen geringer ist als bei gleicher Breite im Thale, und daher eine Verringerung des Schalles auf der Höhe so gut möglich, wie sie thatsächlich in den Polargegenden ist.

Subjectiver Einfluß.

Giebt es nun äußerliche objective Ursachen, welche uns einen Ton mehr oder minder hörbar, verständlich machen, so giebt es auch innerliche oder subjective, in dem Subjecte, in dem Menschen und seiner Stimmung liegende.

Wenn die wachsende Dämmerung einen immer dichteren Schleier über die Gegend verbreitet, auf welche wir von der Höhe herabblicken, wer fühlt sich nicht erregt und wehmüthig gestimmt, wenn aus dem still gewordenen Thale die Klänge der Abendglocke heraufzittern, welchen widerlichen Eindruck macht hingegen das ewige Gebimmel der verschiedenen Kirchen und Kapellen eines lebhaften Ortes wie Cöln während des Tageslärmes. Eben so kann der gewöhnlichste Ton etwas Schreckhaftes werden, wenn wir geistig aufgeregt sind. Das Picken der Wanduhr, das Arbeiten des Holzwurms (die sogenannte Todtenuhr) wird den Kranken während der schlaflosen Nacht zur unerträglichen Qual.

Da wo die Sicherheit des Daseins fehlt, die der civilisirte Staat seinen Bürgern bietet, wo Jedermanns Hand gegen Jedermann gerichtet ist, da sind alle Sinne geschärft, da wird das stets gespannte Ohr für das leiseste Geräusch empfänglich. Wo für den Europäer tiefe Stille herrscht, da hört der Indianer den schleichenden Tritt des Verfolgers, in der Wüste, „wo jeder dein Feind“, wie der Araber sagt, ist das Rollen eines Sandkornes schreckhaft; daher jene wunderbare Schärfe des Gehörs bei den Beduinen. Während der Feindseligkeiten in der Nähe von Algier wurde eine

Abtheilung französischer Reiter vermißt und Capitain Lagondie ausgesandt, um sie zu suchen, wobei ein verbündeter Araber sie als Führer begleitete. Schon war es ganz finster, als sie Pferdegetrappel hörten; Lagondie, in der freudigen Voraussetzung, daß es die gesuchten Landsleute seien, befahl dem Trompeter, sie mit seinem Instrument willkommen zu heißen. Halt! rief der Araber, es können Feinde sein, keinen Lärm, wir wollen hören, was sie sprechen.

Lagondie und seine Leute horchten lange aufmerksam, konnten aber keinen Laut unterscheiden. Aber des Arabers Ohr war schärfer: ja, sagte er, es sind Franzosen, wenigstens sprechen sie nicht arabisch, und sie waren es wirklich.*)

So scharfe Sinne haben wir Europäer und vorzugsweise wir Bewohner civilisirter Staaten nicht; in Spanien, Italien, Griechenland, Ungarn, wo die Sicherheit eines jeden Einzelnen nur von der eigenen Wachsamkeit, nicht von der Sorge des Staates abhängt, mag es wohl ähnliche Fälle von verschärften Sinnen geben. Das Thier aber ist auf den Gebrauch seiner Sinne mehr angewiesen als der Mensch, dem Alles hübsch bequem gemacht wird, daher die Sinne der Thiere, welche in die Ferne wirken, auch so außerordentlich fein sind. Der Adler, der Condor erkennt seine Beute aus einer Höhe von 30,000 Fuß, der Hirsch, das Reh, der Hase haben eine Feinheit des Gehöres, welche in Erstaunen setzt. Der ruhig äsende Hirsch hört das Aufziehen des Hahnes einer Büchse auf 1000 Schritt, man sieht ihn im Augenblick, wo dies eigenthümliche Knacken geschieht, seinen Kopf erheben und aufmerksam forschend um sich schauen, deshalb auch der Jäger, der das wohl weiß, sich sehr hütet, ein solches Geräusch zu veranlassen, allein das Knistern seines Trittes wird beinahe auf gleiche Entfernung gehört und würde das Thier entfliehen, wenn es die Gefahr hört, nicht erst wenn es dieselbe sieht, so würde wohl kein Jäger zum Schusse kommen.

Zurückwerfen des Schalles.

Beruht der Schall auf strahlenförmiger Verbreitung von Wellen eines Mediums, so muß derselbe sich auch zurückwerfen, ablenken lassen, beruht er auf einer geradlinigen Fortpflanzung von einem Mittelpunkte nach allen Richtungen, so muß er sich auch in jeder dieser Richtungen aufhalten lassen.

---

*) Dove a. a. O.

So ist es mit der Wärme und mit dem Lichte, deren strahlenförmige Verbreitung wir kennen und so ist es auch mit dem Schall.

Daß der Schall Schatten werfe (um einen Ausdruck zu brauchen, der uns vom Lichte geläufig ist), unterliegt gar keinem Zweifel. Wenn der Schall auf eine große, in seinem Wege liegende Fläche stößt, so wird er zurückgeworfen (Echo). Alle diejenigen Strahlen, welche zurückgehen, können mithin nicht weiter gehen, eine Wahrheit, die so einfach ist, daß sie im Grunde gar keiner Auseinandersetzung bedarf.

Es gehen jedoch Schallstrahlen an der den Fortgang behindernden Fläche vorbei, deshalb ist es hinter solcher Fläche keineswegs vollkommen still, doch ist die beschattende Wirkung derselben so auffallend, daß sie auch der Unbefangenste, daß sie auch derjenige, der von den physikalischen Gesetzen nichts versteht, bemerken muß.

Ein Beispiel, was jedem Stadtbewohner vorgekommen ist und in großen Städten sich täglich wiederholt, möge erläutern, was der Verfasser sagen will.

Es marschirt ein Bataillon mit der Musik an der Spitze die Straße entlang, schon von weitem hört man dieselbe, und wie sie näher und näher rückt, immer lauter; plötzlich hört dieselbe fast ganz auf, man vernimmt kaum noch die Grundtöne der mächtigsten Blaseinstrumente (Serpent, Bomberde, Posaune), man hört sie aber doch, die Musik schweigt mithin nicht, warum hört man denn die übrige Musik nicht? Weil das Bataillon in eine Querstraße abgeschwenkt ist und das Eckhaus den Zuhörenden für die Musik beschattet.

Es ist aber doch kein vollkommener Schatten da, wird der Leser sagen, denn man hört doch immer noch etwas. Nun denn, muß man dagegen fragen, sieht man denn in dem Schlagschatten, den eine Mauer, ein Haus auf die sonnig beschienene Straße wirft, etwa nicht? Es sind dieselben Gründe, welche einen Schatten sehen und einen Ton hören lassen, Beugung der Strahlen und Reflex derselben.

Durch die Luft wird der Schall fortgeflanzt, aber an der Ecke, an der Mauer vorbeigehend, wird dieser Endpunkt gewissermaßen wieder eine Schallquelle und von ihr aus verbreitet sich der Schall nach allen Seiten so gut, wie von der eigentlichen Quelle des Tones, von dem musikalischen Instrument, von dem Pistol, was es auch sei, nur natürlich um so viel schwächer, als diese neue, zweite Schallquelle ja nur immer ein geringer Antheil der ursprünglichen ist. Somit ist also ein Hören jenseits der hemmenden Mauer nothwendig, allein der Ton ist um so schwächer, je mehr das daran Vorbeigehende ein kleinerer Antheil des ganzen Schalles ist.

Reflex.

Wichtiger als dieser Umstand ist jedoch ein anderer, auf der Erde nie mangelnder, das ist der Reflex. Geht der Schall an einem Gegenstande vorbei, so trifft er auf einen andern und wird von diesem zurückgeworfen, er prallt gewissermassen davon ab; es braucht gar kein fester Gegenstand zu sein, ein Wald läßt gewiß genug Schallstrahlen in seine Masse eindringen, doch giebt die Gesammtheit des Waldes, Laub, Aeste, Stämme, so viel von den Schallstrahlen zurück, daß daraus ein deutliches, ja nicht selten ein sehr schönes, verständliches, Silben und Worte wiedergebendes Echo entsteht.

Bleiben wir aber bei dem oben angeführten Beispiele von der Regimentsmusik stehen, so liegt die Sache (das Hören hinter der einen Schallschatten gebenden Mauer) noch viel näher, denn hier wird ja von demjenigen Hause, welches dem schattengebenden gegenüber liegt, Schall gegen uns reflectirt, und noch von hundert andern Gegenständen findet dies statt. Die Hauptmasse des Schalles wird uns zwar entzogen, geringere Mengen desselben aber kommen uns von verschiedenen Seiten zu, so daß eine völlige Stille durch schattengebende Körper so wenig möglich ist, als eine völlige Finsterniß durch einen gegen das Licht undurchsichtigen Körper.

Sollte ein Versuch der Art mit dem Schalle gemacht werden, so würde er wahrscheinlich nur durch Luftballons auszuführen sein und daher sehr kostbar werden, im Uebrigen würde man dadurch wohl nur erfahren, was die Theorie der Strahlenverbreitung überhaupt sagt.

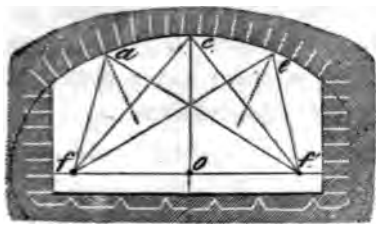
Gesetze des Schallreflexes.

Interessanter als ein solches theoretisches Problem (ob es thunlich, einen vollkommenen Schallschatten zu bilden, welches an der Erde doch nicht möglich wäre, da die Erdoberfläche selbst ja schallreflectirend ist) dürfte die Untersuchung der Gesetze sein, nach denen der Schall zurückgeworfen wird.

Soll der Schall eine Zurückwerfung nicht zufälliger Art, sondern nach gewissen Voraussetzungen erhalten, will man ihn irgend wohin leiten, so muß man ihn genau so behandeln, wie man unter einem ähnlichen Verlangen das Licht behandeln würde, denn es gilt auch für den Schall das Gesetz, daß die Strahlen von einer reflectirenden Fläche unter demselben Winkel zurückgeworfen werden, unter dem sie auffallen und ist dies eben so gut für gekrümmte Flächen gültig wie für gerade.

Nehmen wir an, die Fig. 63 gäbe uns den Durchschnitt eines elliptisch geformten Gewölbes, von welchem o den Mittelpunkt bildet, indeß f der eine und f' der andere Focus ist, so kann man sich unter fa, fe und fe Schallstrahlen denken und man wird sich nun fragen, wie werden dieselben zurückgeworfen?

Fig. 63.

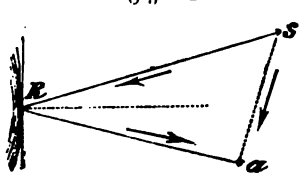


Die Antwort wird sein: lege an die Berührungspunkte der Schallstrahlen mit dem Gewölbe Linien an, welche auf dem Gewölbe senkrecht stehen; diese senkrechten Linien sind bei a und e punktirt und bei e ist eine solche ausgezogen, sie trifft den Durchschnittspunkt der großen und der kleinen Axe und ist selbst eine der Axen, hier die kleinere.

Hat man diese senkrechten Linien, diese Normalen, so versteht sich das Uebrige von selbst; zu der Linie fa zieht man eine solche, die mit der punktirten Linie einen genau so großen Winkel macht als die Linie fa mit derselben. Eben so verfährt man mit den beiden andern Linien und wenn man dies recht genau durchgeführt hat, so wird man finden, daß diese neuen Linien alle in dem Punkte f' zusammen kommen. War f der eine Brennpunkt der Ellipse, so ist f' jederzeit der andere, und eine Stimmgabel in dem Punkte f zum Tönen gebracht, wird so wie eine tickende Uhr, oder ein anderer, einen schwachen Schall gebender Körper, nur in dem Punkte f' gehört werden.

Ganz dasselbe findet bei jeder andern, den Schall zurückwerfenden Fläche statt, nur mit dem Unterschiede, daß wenn dieselbe nicht eine solche Krümmung hat, daß die reflectirten Strahlen in einem Brennpunkt zusammen kommen, sie sich auch nicht concentriren werden, der Reflex aber findet statt, wie auch die Fläche gestaltet sei. Ist z. B. R eine gerade oder convex gekrümmte Fläche und es wird in S ein Schall erregt, welcher auf dem durch den Pfeil bezeichneten Wege nach R gelangt, und fragt man nun, wohin wird derselbe zurückgeworfen werden, so ergiebt sich die Antwort hierauf wie auf die vorige Frage durch Errichtung der punktirten Linie, welche senkrecht auf den Körper R steht, genau in dem Berührungspunkte der Linie SR. Man wird nun einen Winkel zu suchen haben, welcher genau dem von SR mit der punktirten Linie gleich ist, dies ist RO, und ein Jeder, der in b

Fig. 64.



Linie RO ſteht, hört den Schall, welcher in S erregt worden iſt, ſo, als wäre er in R hervorgebracht, wie der Pfeil andeutet.

Da jedoch der Schall nicht von R ausgeht, ſondern von S, ſo wird dieſer Schall von Jemandem, der auf der Linie RO ſteht, gleichfalls gehört werden, indem der in S erregte Ton ja nicht allein nach R, ſondern nach allen Richtungen, alſo auch nach O geht, in einem ſolchen Falle hört O zuerſt den in S erregten Ton und dann das Echo deſſelben.

Schallgewölbe.

Es giebt unglückliche Bauanlagen, in denen dies durch Schuld des Baumeiſters hervorgebracht iſt, dann kann es ſehr ſtörend werden. Das alte Theater in Stuttgart hatte eine tonnenartig geformte Decke; die Perſonen, welche im Parterre oder den Sperrſitzen die Mitte des Schauſpielhauſes einnahmen, hörten zuerſt den Souffleur, dann den Schauſpieler und hierauf vollkommen deutlich von oben, wie es ſchien aus der Oeffnung für den Kronleuchter herabkommend, nochmals daſſelbe zur wahren Verzweiflung der dorthin Verwieſenen. Mitunter geſchah dies in ſolcher ſinnverwirrenden Art, daß man gar nichts von Allem verſtand, weil die auf einander folgenden Töne und die Echo's derſelben ſich deckten. Dieſer Erfolg hätte dem Baumeiſter vorher einleuchten und er hätte die ungeſchickte hölzerne Wölbung aus ſeinem Plane weglaſſen müſſen, man hat ſich dort jedoch ſo ſehr in dieſer Anordnung gefallen, daß auch der ſogenannte Redoutenſaal, welcher vorzugsweiſe zu Concerten beſtimmt war, auf eben ſolche Weiſe gebaut, mit einem Tonnengewölbe verſehen iſt. Das neue Theater hat natürlich hierin eine Abänderung erfahren.

Baut man abſichtlich in dieſer Art, ſo kann man ganz wunderbare Effecte erzielen.

Wenn m ein paraboliſch geſtalteter Hohlſpiegel iſt, in deſſen Brenn-

Fig. 65.

punkt *s* eine Uhr liegt, so gehen die sich ausbreitenden Schallstrahlen nicht nur nach der offenen Seite, sondern sie treffen auch auf den ihnen nahe liegenden Spiegel und werden von diesem zurückgeworfen. Der in einem der Berührungspunkte errichtete Perpendikel *m n* giebt die natürliche Richtung der Schallstrahlen an. In einer Parabel werden diese sämmtlich parallel, wenn sie aus dem Brennpunkte kommen und so parallel gehen sie auf große Strecken fort.

Wenn man nun diesem Hohlspiegel gegenüber einen zweiten *m'* aufstellt, so daß die Axen beider in einander fallen, d. h. so daß die beiden äußersten Ränder der Spiegel vollkommen parallel mit einander stehen, so werden die von dem zweiten Spiegel aufgefangenen Strahlen sämmtlich in dem Brennpunkte *o* vereinigt und derjenige, dessen Ohr sich hier befindet, wird das geringfügige Geräusch der tickenden Uhr auf eine Entfernung von 70 Fuß hören.

Einen großen Uebelstand findet man bei diesen Versuchen in dem Körper des Experimentirenden; der Leser sieht wohl ohne Zweifel, daß durch Kopf und Oberleib der Figur wenigstens die Hälfte der von dem einen Spiegel auf den andern gesendeten Strahlen aufgefangen werden, also nicht zur Wirkung kommen können; der Verfasser hat dies Experiment daher immer so angestellt, daß er ein Hörrohr von der Form der Fig. 66 so stellte,

Fig. 66.

daß seine breite Oeffnung mit dem Focus des Spiegels zusammentraf, natürlich war dies Rohr im Verhältniß zu dem Spiegel sehr viel kleiner als die Zeichnung giebt, so daß ein Vortheil für das Mehr der empfangenen Strahlen in die Augen springen mußte. Dasselbe darf nicht beträchtlich größer sein als die Ohrmuschel eines Menschen. Hat man diese Einrichtung getroffen, so ist der Effect solcher Hohlspiegel außerordentlich und man hört die Uhr so deutlich, als ob man dieselbe dicht an dem Ohre hielte.

Schallgrotten.

Von dieser Wirkung parabolischer Flächen hat die Baukunst Gebrauch gemacht, wenn auch nur als Spielerei. An vielen Orten, besonders in fürstlichen Gärten, befinden sich Schallgrotten; Gewölbe in der Form von Parabeln, groß genug, um eine mäßige Gesellschaft zu fassen. Die Grotten sind inwendig mit einem sehr ebenen Mörtel bekleidet, um den Schall gut reflectiren zu können; sie liegen einander sehr genau gerade gegenüber,

können jedoch durch leichtes Gebüsch, durch ein paar schwach belaubte Bäume so maskirt werden, daß sie einander nicht sehen. Wenn nun Jemand aus der Gesellschaft, der dem Mittelpunkte der Grotte am nächsten sitzt, ganz leise spricht, so hört ein Anderer, welcher in der correspondirenden Grotte befindlich, jedes Wort, jedes Geflüster. Der Verfasser hat die wunderbare Wirkung beobachtet, welche der auf solche Weise übertragene Gesang einer jungen Dame machte: der Hörer, ohnedies etwas zur Schwärmerei geneigt, wollte sich nicht nehmen lassen, daß er himmlische Klänge, daß er die Stimme eines Engels gehört, und war durchaus nicht erbaut, als man ihm den Schlüssel zu diesem Räthsel in die Hand gab.

Das Echo ist die gewöhnlich von der Natur herbeigeführte Wirkung reflectirter Schallstrahlen. Am häufigsten nennt man Echo einen Schallreflex nach der Gegend hin, in welcher der tongebende Körper, in welcher der Mensch, der ihn erregt, sich befindet, dies ist aber nur diejenige eine Art des Reflexes, bei welcher der zurückgeworfene Strahl in sich selbst zurückkehrt, in allen andern Fällen wird der Sprechende seine Worte nicht vernehmen, nichts desto weniger sind diese andern doch auch Echo's, und sie sind im Gegentheil nicht die seltenen, sondern die häufigeren, aber weil für das Echo, welches der Tongebende selbst hören will, eine Bedingung unerläßlich ist, die nämlich, daß die reflectirende Fläche genau senkrecht auf den Schallstrahl steht (also unter tausend Fällen ein einziger, indeß unter eben so vielen die 999 übrigen diejenigen sind, in welchen mehr oder minder große Winkel gebildet werden zwischen dem einfallenden Schallstrahl und der reflectirenden Fläche), darum kommen vorzugsweise sogenannte Echo's seltener vor, als man bei einer so einfachen Vorrichtung meinen sollte.

Die Entfernung, welche der Schall durchläuft, ist verschiedentlich gemessen worden und haben wir bereits angegeben, daß sie nach den Verhältnissen von Temperatur und Druck der Luft zwischen 1030 und 1100 Fuß in der Secunde beträgt.

Von dieser Geschwindigkeit des Schalles hängt die Wirkung des Echo's ab; ist ein echogebender Körper so weit entfernt, daß der Schall ihn wohl noch, sein Reflex aber nicht mehr unser Ohr erreicht, so entsteht unter gewöhnlichen Umständen kein Echo. Eine steile Felswand, ¼ Meile von uns entfernt, ja nur 1000 Schritt weit giebt schon kein Echo mehr für den lautesten Ruf.

Echo.

Allein die Klänge, Töne, das Geräusch, das man hervorbringen kann, sind sehr verschiedener Art, ein Pistolenschuß wird von einer 3000 Schritt

($\frac{1}{4}$ Meile) entfernten Felswand wohl zurückgeworfen werden; ein Gebirge als einen echogebenden Körper zu betrachten, fällt wohl nicht leicht Jemandem ein, doch wird der Donner eines Gewitters davon gleichfalls reflectirt. Es kommt also darauf an, wie *laut* der gegebene Ton *und wie weit* der echogebende Körper entfernt ist.

Hiernach richtet sich das, was man ein *einsilbiges* und ein *vielsilbiges* Echo nennt. Ist man von dem reflectirenden Körper etwa 100 Fuß entfernt, so wird der Wiederhall in $\frac{1}{3}$ Secunde gehört, diese Zeit genügt, um den Wiederhall von Schall zu unterscheiden, man hört also *eine* Silbe fast unmittelbar, nachdem man sie ausgesprochen hat. Für zwei Silben ist weniger als das Doppelte der Zeit genügend, daher die Entfernung auch nicht 200 Fuß zu sein braucht, sondern etwa 180 Fuß schon für ein zweisilbiges Echo genügen. Bei 500 Fuß Entfernung des Echo's braucht der Ton eine ganze Secunde zum Hin- und Zurücklaufen und solch ein Echo wird ein sechssilbiges sein, d. h. sechs hinter einander ausgesprochene Silben werden ganz deutlich vom Echo wieder zurückgegeben.

In der Natur eignet sich wegen seiner meistentheils senkrechten Abstürze der Quadersandstein am besten zu einem vielsilbigen Echo, doch auch ein geradlinig begrenzter, geschlossener Wald giebt schon ein mehrsilbiges Echo; bei großen Gebäuden, welche ziemlich frei stehen, findet man dergleichen am häufigsten. Für die natürlichen Echo's geben die Felsgegenden von Aersbach und die schönen Vorlande der würtembergischen Alp, in welcher Lias- oder Jurakalk, auch Kalkschiefer, rother und bunter Sandstein häufig in breit hervorragenden Fronten auftritt, ausgezeichnete Beispiele; was künstliche Echo's anbetrifft, so zeigt eins der schönsten der runde Platz in Cassel; im Alterthum war das berühmteste das am Grabmal der Metella, welches 15 Silben hinter einander, nämlich den ganzen ersten Vers der Aeneide *acht* Mal wiederholte.

Besondere Arten von Echo's.

Dies führt uns noch auf besondere Arten von Echo's; so wie es nämlich dergleichen giebt, die acht oder zehn Töne nach einander gegeben, einmal wiederholen, so giebt es auch solche, welche einen Ton acht oder neun Mal wiederholen. Man nennt diese nicht *vielsilbige*, sondern *vielfältige* Echo's, sie entstehen dadurch, daß reflectirende Wände in gewissen Entfernungen einen und denselben Schall nach einander zurückschicken, mitunter so oft, daß man es nicht mehr zählen kann. Am einfachsten ergiebt sich dies, wenn zwei Wände einander gerade gegenüber stehen, parallel mit einander sind, aber auch, wenn mehrere Wände so hinter einander stehen, wie die Coulissen

eines Theaters. Es bedarf in dem letzteren Falle nicht einmal großer Wandungen, es sind schon kleine Flächen ausreichend, sind deren sehr viele und stehen sie in einer geringen Entfernung von einander, so wiederholen sie nicht den Schall einzeln, sondern die sämmtlichen Wiederholungen schmelzen zu einem gehaltenen Ton zusammen.

Der Verfasser machte schon als Knabe diese Bemerkung, wiewohl er sich dieselbe damals so wenig zu erklären wußte, als man sie ihm erklären konnte. Seiner Eltern Garten war von einem Bretterzaune in der Länge von wenigstens 300 Schritt begrenzt, alle 10 Fuß stand ein Pfahl, welcher die Querbalken trug, woran die Bretter befestigt waren. Wenn nun an dem einen Ende ein Peitschenknall fiel, so lief von dem Entstehungsorte desselben ein gellender, lang gehaltener Pfiff aus, der mit dem Wiederhall der Peitsche da endete, wo der Gartenzaun rechtwinklig umbog. Daß dieser Wiederhall dem Echo zuzuschreiben sei, lag auf der Hand, daß der pfeifende Ton aber von dem in einer halben Secunde 60 Mal reflectirten Knall herrühre, war damals Niemandem aus des Knaben Umgebung bekannt. An einer Kirchhof- oder einer Stadtmauer, welche gewöhnlich, um Ersparniß an Material zu machen, aus lauter einzelnen Wölbungen mit schwacher Füllung, also aus vorspringenden Pfeilern einer gleich weit zurücktretenden Wand bestehen, kann man dies Experiment sehr gut machen. Ein Pistolenschuß giebt daselbst eben so gut einen pfeifenden Ton wie ein Peitschenknall. Da jeder folgende Ständer oder Pfeiler von dem Beobachter entfernter ist als der vorhergehende, so kommt von jedem der folgenden der reflectirte Ton um etwas später zurück als von dem näheren, die Lufterschütterungen werden also langsamer und mithin wird der Ton nach und nach niedriger, der Pfiff fängt in einer gewissen Höhe an und sinkt, bis er aufhört (vorausgesetzt daß die Mauer lang genug ist), wenigstens um eine ganze Terz herab.

Befinden sich nun so gestaltete Hindernisse für die gerade Fortpflanzung des Tones in größerer Entfernung von einander, z. B. von 100 zu 100 Fuß, so hört man den Schall einzeln als Echo so oft wiederholt, als ein solches Hinderniß da ist.

Vielfache Echo's.

Solcher vielfach sich wiederholender Echo's sind einige sehr interessante durch die neueren Lehrbücher der Physik aufgeführt und sie waren den Forschern so merkwürdig, daß selbst die deutschen in Frankreich und England bekannt geworden sind, eine Ehre, welche früher unsern Raritäten nicht leicht zu Theil wurde.

Außer dem von Gassendi angeführten vom Grabmal der Metella, welches er noch hörte, das jedoch jetzt sein Wunderbares gänzlich verloren haben soll, citirt Pater Kircher ein solches, das er in Schlesien von Simonetta bei Mailand gefunden. Dieses hat außer dem Hauptgebäude zwei Flügel, wie die Universität zu Berlin, deren parallele Wände den Knall eines Pistolenschusses 30, nach einigen Beobachtern gar 60 Mal zurückwerfen, das erste ist das Echo des eigentlichen Schalles, jedes folgende ist das Echo des vorhergehenden Echo's. Monge hat Gelegenheit gehabt, dies in neuerer Zeit zu untersuchen und die Thatsache festzustellen.

Unfern Coblenz an dem Fürstenstein ist ein Echo, welches 17 Mal dasselbe Wort wiederholt, eben so oft wiederholt das Echo von Woodstock ein Wort während des Tages, 20 Mal aber zur Nachtzeit, wie Robert Plott meldet, der dasselbe genau untersucht und beschrieben hat. Sehr schön ist auch das 13fache Echo, welches zwei Thürme (3 Meilen von Verdun) geben, wenn man sich mitten zwischen dieselben stellt. In einem Gebäude zu Pavia ist ein sonderbares Echo, welches 30 Mal auf irgend eine Frage mit der letzten Silbe gewissermaßen antwortet.

Außer diesen hat Dove noch Nachrichten über andere sehr interessante Echo's gesammelt, so über das 22fache der berühmten Menaibrücke, über das 15fache vom Lago del Lupo, über den Wasserfall von Terni; auch zu Genetay bei Neuen in der Normandie ist ein sehr merkwürdiges Echo, worüber in den Schriften der Pariser Akademie vom Jahre 1692 eine Abhandlung enthalten ist. In dem halbkreisförmigen Hofe eines Gebäudes singend, hört der Sänger nur seine eigene Stimme, ein Anderer, von ihm in einer gewissen Entfernung stehend, aber nur das Echo derselben, aber mit großen Verschiedenheiten, indem es bald nahe, bald fern, bald deutlich, bald gar nicht, von Einem wie eine Stimme, von dem Andern wie viele, von dem Einen zur rechten, von dem Andern zur linken Seite gehört wird. Diese Sonderbarkeiten erklären sich sehr leicht aus der mangelhaften Art, die Versuche anzustellen, wie es vor 170 Jahren kaum anders sein konnte, da man die Grundsätze, nach denen der Schall sich verbreitet, kaum noch ahnte.

Wölbungen geben, wie bereits oben angeführt, häufig sehr schöne Echo's und es muß dies eigentlich allemal der Fall sein, wenn die Brennpunkte aufgefunden werden; da indessen meistens (außer bei Kellerwölbungen) die Brennpunkte über dem Standpunkt des Besuchers liegen, nimmt man sie nicht wahr.

Flüstergallerien.

Hohlkehlen an Gewölben sind sehr geeignet, den Schall leise gesprochener Worte weiter zu leiten, wie ja auch die Hohlkehle, welche der äußere Rand der Ohrmuschel bildet, den Schall nach dem inneren Ohre leitet. Die Flüstergallerie in der Paulskirche zu London und die Gallerie des Vorbildes jener Kuppel, nämlich die der Peterskirche zu Rom, gehören hierher; die hohe Kirche von Striegau in Schlesien verdient nicht weniger berühmt zu sein, am auffallendsten aber war ein solches Beispiel der Fortleitung des Schalles in der Cathedrale zu Agrigent (Girgenti) in Sicilien zu finden. Man erzählt hiervon eine schauerliche Geschichte: Ein vornehmer Herr führt einen Freund in die Cathedrale, um demselben die Schönheiten dieses Baues zu zeigen, dabei verweilt er in einem der Nebenschiffe einen Augenblick; plötzlich wird sein Gesicht sehr ernst, er antwortet nicht auf die Fragen des Freundes und winkt demselben sogar Schweigen zu, während er ihn forschend ansieht, da er jedoch dessen Züge nichts als Verwunderung ausdrücken sieht, verfolgt er seine Beobachtungen.

Es waren höchst verhängnißvolle; er befand sich zufällig in dem einen Brennpunkt eines Kreuzgewölbes, in dessen anderem Brennpunkt eben so zufällig ein Beichtstuhl stand und der Nobile hörte die Beichte seiner Gattin an. Sie gestand dem Gewissensrath eine begangene Untreue und der Morgen fand sie und den Verbrecher ermordet.

Der Beichtstuhl ward, als man den Grund des Verrathes seiner Geheimnisse erfuhr, an eine andere Stelle gesetzt, er ist jedoch den Sicilianern so gut im Gedächtniß geblieben, daß er ein- für allemal leer bleibt.

Verlauf des Schalles.

Ein sehr lebhaftes Echo erzeugt in Gebirgsgegenden der Donner, allein nicht das Echo, sondern die Länge des Blitzes ist der Grund seiner langen Dauer. Der Blitz scheint zu seinem Erscheinen und Verschwinden keine Zeit nöthig zu haben, wir wissen ja, daß die Elektricität wenigstens 60,000 Meilen in einer Secunde läuft, der Blitz von der Länge einer Meile braucht also nur $^1/_{60,000}$ Secunde; allein dieser so kurz dauernde Blitz ist doch 24,000 Fuß lang, nun geht der Schall aber nur 1000 Fuß in der Secunde, wenn ich also auch von dem Punkte, wohin der Blitz trifft, den Schall sogleich empfange, so höre ich den Schall der folgenden 1000 Fuß doch erst nach einer Secunde, den Schall des zehnten und zwölften

Tausend erst nach 10 Secunden und der Schall des letzten Endes des Blitzes erst nach 20 Secunden und später, wenn der Blitz noch länger war, das Leuchten des Blitzes braucht keine Zeit, der Schall braucht deren.

Wollte der Regiments-Commandeur am rechten Flügel der langen Front stehen (3 Bataillone à 1200 Mann in drei Gliedern sieht mit den Distanzen, den dazwischen stehenden Musikern, Trommlern &c ungefähr 1500 Schritte) und „Gewehr auf!" commandiren, so würde die letzte Rotte veranlaßt die Stimme trotz bis dahin, was sehr zweifelhaft sein dürfte, ihr Gewehr erst aufnehmen, nachdem die erste es bereits 3 Secunden lang im Arme hat. Deshalb steht der Commandeur nicht am rechten Flügel, sondern mitten vor der Front, das reducirt den Fehler auf die Hälfte, ferner steht er weit vor der Front, dies vermindert den Fehler noch mehr, endlich commandirt er zwar, aber da er wohl weiß, daß seine Stimme nicht 1000 Schritte reicht, so giebt er mit dem bei dem Worte „Auf!" plötzlich gezogenen Degen ein Zeichen, das Zeichen sieht man auf jede Entfernung der Erde zugleich, ohne Zeitverlust, während das Hören stets einen solchen mit sich führt. Ein Donner von Dauer, ohne Hülfe des Echo's, kann ganz wohl hervorgebracht werden, wenn man die Ursache des Schalles ausdehnt. Ein Flintenschuß ist ein Knall, 10,000 Flinten in einer geraden Linie, d. h. ein Armeecorps, das eine Salve giebt, erzeugen einen 20 Secunden langen Donner, so lange dauert es, bevor der Schall der letzten Flinte denjenigen erreicht, der neben dem ersten steht und da in jedem 500sten Theil einer Secunde der Schall eines Schusses erfolgt, so erscheint das Ganze wie ein zusammenhängender Donner, da aber jeder folgende Schuß ferner ist als der vorige, so ist der Donner ein verhallender, er wird immer schwächer.

Das Sprachrohr.

Auf den Gesetzen der Zurückwerfung beruht das Hör- und das Sprachrohr, beide eigentlich ganz dasselbe, nur verschieden im Ansatz. Ein Fernrohr verändert sich nicht, ob man in das Ocularglas oder in das Objectivglas hineinsieht, wenn schon die Wirkung sehr verschieden ist.

Das Sprachrohr ist ein hohler Kegel, in dessen enge Mündung man spricht, um den Schall weit fortzupflanzen, das Hörrohr ist ein hohler Kegel, in dessen weite Mündung man spricht, um den Schall zu concentriren, das Hörrohr ist also ein umgekehrtes Sprachrohr.

Es ist beinahe gleichgültig, woraus das Instrument gefertigt wird, aus Pappe, Gummi elasticum, Leder oder Blech. Die auf der folgenden Seite stehende Fig. 67 zeigt die beste Form für ein Sprachrohr, läßt man das

Mundstück *o* fort, so wird dasselbe ein Hörrohr, und es ist nichts weiter als eine Verringerung der Dimensionen nöthig.

Fig. 67.

Man sieht, dasselbe besteht aus einem kegelförmigen Mittelstück, einem Mundstück *o*, welches groß genug ist, um den Mund zu umschließen, ohne die Bewegung der Lippen zu hindern und aus einem sogenannten Pavillon *P*, einem trichterförmigen Endstück, welches ausgebogen ist, wie die Schallstücke der Trompeten, der Posaune, der Blechinstrumente.

Das Mundstück dient, um beim Sprechen in das Rohr den Verlust eines Theiles des Schalles nach den Seiten hin zu verhindern, zu bewerkstelligen, daß alle erregten Luftwellen in den kegelförmigen Körper gelangen. Man hält dies Mundstück für durchaus nothwendig, der Verfasser aber hat mit mehreren und verschieden gestalteten Sprachrohren Versuche über deren Tragkraft angestellt und gefunden, daß, je directer man den Mund in das Rohr selbst bringt, je weiter der Schall geführt wird. Hat die Rohröffnung dicht unterhalb des Mundstückes etwa die Weite eines Doppelthalers und spricht man dann unmittelbar in das Rohr, mit Hinweglassung des Mundstückes, so ist die Wirkung des Rohres eine bedeutend größere.

Anders ist es mit dem Schalltrichter, dieser ist nothwendig und eine Hinweglassung desselben schadet der Wirkung des Rohres bedeutend, allein wie der Trichter wirkt, welcher der theoretische Schlüssel zu den Gesetzen der Verstärkung durch ihn, wie überhaupt durch das Rohr ist, weiß man mit Sicherheit keineswegs.

Theorie des Sprachrohres.

Die alte Ansicht von der Wirkung des Instruments ist diese: der in der Mündung erregte Schall strebt, sich strahlenförmig auszudehnen, wird jedoch durch die Wände des Rohres daran gehindert. Diese werfen den Schall zurück unter demselben Winkel, unter dem er auffällt, so gelangt der Schallstrahl von oben nach unten, von links nach rechts, wird wieder herauf oder herabgeworfen, und die zweckmäßigste Form des Sprachrohres ist diese, bei welcher nach den verschiedenen Zurückwerfungen endlich der Schall in

lauter parallelen Strahlen aus der Mündung kommt und so parallel in die Weite geht.

Wäre dies der Fall, so müßte es eine beste Form und eine beste Substanz geben zur Verfertigung des Sprachrohres; beides aber ist gleichgültig, wenn die Mündung, in welche man hineinspricht, nur enger ist als die andere, aus der der Schall entweicht.

Auch müßte, wenn jene Ansicht die rechte wäre, die Hinweglassung des Schalltrichters nichts an dem Tone ändern; sie ändert, sie schwächt aber so bedeutend, daß man daraus die Wichtigkeit dieses Theiles und die Unrichtigkeit der bisherigen Theorie von der Schallverbreitung durch das Sprachrohr recht deutlich erkennen kann.

Endlich aber und hauptsächlich liegt ein sehr entschiedener Widerspruch gegen die angeführte Annahme darin, daß es nicht auf die Elasticität des Stoffes ankommt, aus welcher das Sprachrohr gefertigt, daß man es sogar unbeschadet seiner Wirkung inwendig mit Tuch bekleiden kann, welches den Reflex der Schallstrahlen fast gänzlich hindert, und daß der Ton des Sprachrohres gar nicht etwa wie die Leuchtkraft einer Flamme durch einen Spiegel nach einer abgegrenzten Richtung fortgesendet wird, sondern daß es überhaupt den Ton verstärkt, daß man hinter dem Sprachrohr den Sprechenden eben so viel lauter hört als vor demselben. Wäre die Verstärkung der Stimme lediglich ein Erfolg der strahlenförmigen Fortpflanzung nach derjenigen Richtung, welche durch das Sprachrohr vorgeschrieben ist, so müßte nur derjenige den Schiffscapitain verstehen, auf welchen in dem dahin segelnden Schiffe die Axe des Sprachrohres gerichtet ist. Wie wenig dies der Fall, erfährt man nicht etwa dadurch, daß alle Bewohner des Schiffes, auf welches jetzt gesprochen wird, die zwar bis zum Grausenhaften entstellte, aber eben so verstärkte Stimme des Capitains hören, sondern durch jeden, auch den roheſten Versuch, mit dem ersten besten Bogen Pappe, welchen man konisch zusammendreht.

Das Hörrohr.

Nicht besser sieht es mit der Theorie des Hörrohrs aus. Dies Instrument, im Ganzen von der Form, welche die Fig. 68 giebt, hat doch

Fig. 68.

so mannigfaltige Formveränderungen erlitten, daß man sie nicht mehr mit der Lehre vom Reflex des Schalles zusammenreimen kann. Das Trompetenschallstück ist auch hierbei von wesentlichem Einfluß, allein ob dasselbe so oder anders gestaltet, gebogen, ist ganz gleichgültig; wunderbar dabei, daß es auf die Länge des Verbindungsrohres so wenig wie auf die Weite desselben ankommt. Man hat Röhren von Kautschuck, Guttapercha und auch Metall, dies sind Widerstand leistende, denn selbst der elastische Harz hat noch eine ziemlich harte und ebene oder glatte Oberfläche, allein es giebt Hörrohre aus dem Geflecht, welches man zu den biegsamen Pfeifenschläuchen braucht, eine lange Drahtspirale mit Kattun umwickelt, und dann äußerlich mit irgend einem farbigen Stoffe (Baumwolle, Seide ꝛc.) überspannen. An dem einen Ende solchen Schlauches von 2 Ellen und mehr Länge befindet sich das Schallstück, gewöhnlich aus Horn gedrechselt, an dem anderen ein dünnes Rohr, wie eine Pfeifenspitze, dessen runder Knopf in das Ohr gesteckt wird.

Man hat in dem Rohre alle möglichen Bedingungen vereinigt, um den Schall nicht zu reflectiren, vermöge der Spirale von Draht, welche steif und sperrig ist, und der weichen Umwickelung des Gewebes wechselt hier Berg und Thal unaufhörlich ab; fände ein Reflex der Schallwellen statt, so müßte es der unregelmäßigste und ungeschickteste sein, den man sich nur denken kann, dazu sind die beiden Ansätze des biegsamen Rohres an die Hornstücke durch das Einschrauben des Schlauches in dieselben gewöhnlich verengert, zusammengedrückt; und dennoch ist es erstaunenswürdig, welche Wirkung ein so höchst unvollkommenes Instrument macht. Der Verfasser kennt Personen, deren Harthörigkeit ganz nahe an Taubheit grenzte, mit diesem Rohre versorgt haben sie das leiseste Sprechen vernommen, wenn der Mund des Sprechenden nur gegen die Schallöffnung gerichtet und das Pfeifenmundstück in die Ohrmuschel eingeführt war.

Auch hier kennt man also die eigentlichen Gesetze der vortheilhaften Fortpflanzung des Schalles durchaus nicht und es würde vielleicht ganz vergeblich sein, ein solches Instrument nach der vorhandenen Theorie zu construiren, man muß sich der Praxis überlassen, man muß probiren, was das beste ist.

Gleichmäßigkeit der Fo[illegible]alles.

Auf die Art des Schalles kom[illegible]nzung gar nicht an (nur daß ein stärkerer Schall weit [illegible]n schwächerer), hohe Töne pflanzen sich nicht schneller [illegible]rt als tiefe,

die der sanften Flöte nicht langsamer als die der schmetternden Trompete oder der schneidenden Picoloflöte, daher giebt auch das Echo den Schall ganz in dem Rhythmus wieder, in welchem derselbe ihm überliefert wurde. Würde eine Verschiedenheit der Fortpflanzung stattfinden, so würde man kein Concert geben können, die Instrumente kämen niemals zusammen, außer in der allerunmittelbarsten Nähe. Es giebt Bedingungen, unter denen eine solche Verschiedenheit durch den Musikdirector veranlaßt, gefordert wird, zur Strafe für seinen Unverstand hat er dann gleich das Mißlingen seines Unternehmens zu tragen. Der Verfasser meint diejenigen Doppelconcerte, bei denen z. B. in einer sehr großen Kirche zwei Musikchöre einander in der möglichsten Entfernung gerade gegenüberstehen. Beträgt dies 200 Fuß (wir haben viele Kirchen, welche eine bedeutend größere Länge haben), so sind die Musikchöre um ein Fünftheil Secunde aus einander. Wenn nun der Musikdirector bei dem einen Chor dirigirt und gleichzeitig dem anderen Chore die Signale giebt, so werden begreiflich beide in demselben Augenblick anfangen oder taktmäßig pausiren oder einsetzen, für die Zuhörer aber, die in der Nähe eines der beiden Musikchöre sind, wird das andere immer um einen halben, einen ganzen Takt fehlen, und nur diejenigen, welche gerade in der Mitte zwischen beiden sitzen, hören ein richtiges Zusammenstimmen, gewöhnlich aber werfen beide Musikchöre um. Es ist nämlich unmöglich, willenlos, wie eine Maschine, dem Taktstocke des Dirigenten zu folgen; der Musiker sieht zwar, was der Director will, allein sein Ohr sagt ihm, jener habe Unrecht und er sei um einen halben oder viertel Takt voraus, denn er hört ja den gegenüberstehenden Musiker um $^1/_5$ Secunde später als er den Taktstock aufschlagen sieht, er will den Musikdirector verbessern und seine Leistung mit jener im Einklang bringen, daraus wird denn auch für die meisten Zuhörer eine solche Disharmonie, daß sie davon laufen möchten.

Die Wirkung dieser Verzögerung des Schalles durch das Medium zeigt sich sehr deutlich an einem in Sectionen marschirenden Bataillon Soldaten. Die Musik schreitet voran und alle bis auf 500 Schritt im Takte ihr nach.

In welchem Takte? in denjenigen, den ein Jeder hört, allein dies ist bei 100 Schritt schon $^1/_4$ Secunde, bei 200 Schritt schon $^1/_2$, zwischen 200 und 300 beträgt der Unterschied schon so viel, daß der Mann um einen vollen Schritt hinter dem an der Spitze marschirenden Tambour-Major zurück ist und daß er den linken Fuß niedersetzt, indem der andere bereits mit dem rechten Fuß den zweiten Schritt gemacht, zu einer ganzen Secunde erwächst der Unterschied am Ende. Kommt nun aber ein zweites Bataillon hinterher, nachdem das erste vollständig im Marsche ist, so kommt die letzte Compagnie des ersten Bataillons gewiß in die größte Unordnung,

indem sie gern ihrer Musik folgen möchte, aber durch den scharf markirten Taktstrich der Trommeln gezwungen wird, den angenommenen Rhythmus zu verlassen.

Findet auch solche bei Paraden den armen Officier zur Verzweiflung bringende Disharmonie nicht statt, so hat er nun doch eine andere Noth. Sobald der erste Zug bei demjenigen, der die Parade abnimmt, vorbei ist, schwenkt die Musik ab und stellt sich seitwärts auf. Jeder Zug hat nun seinen eigenen Tritt nach dem Verhältniß der Entfernung von der Musik, jetzt bleibt aber die Musik stehen und er nähert sich derselben unaufhörlich, er muß also seinen Schritt moderiren, denn mit jeder Verminderung der bisherigen Entfernung wird der Takt schneller und da man nicht von jedem Soldaten verlangen kann, daß er ein Spontini sei, daß er ein so feines Taktgefühl habe, wie ein ausgebildeter Musiker, so ist es „sehr schwierig mit seinem Zuge gut vorbei zu kommen", wie der Officier sagt, und er dankt dem Himmel, wenn es geschehen ist.

Brechung der Schallstrahlen.

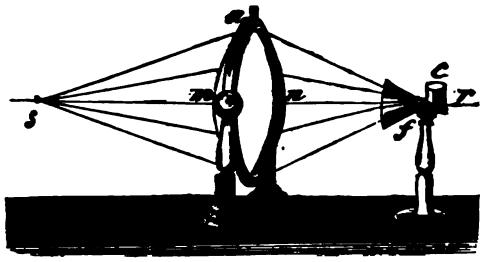
Haben wir die geradlinige Verbreitung des Schalles und den Reflex desselben betrachtet, so bleibt uns noch die Frage übrig, ob der Schall auch dem Lichte gleich gebrochen, d. h. beim Durchgange aus einem Mittel in oder durch das andere gleich anderen strahlenförmig sich verbreitenden Thätigkeiten von seinem Wege abgelenkt werden könne.

Man hat hierüber wohl mancherlei Versuche angestellt, auch Dove hat sich Jahre lang vergeblich darum bemüht, bis es endlich dem Professor Sondhaus in Breslau gelang, die Thatsache vollkommen festzustellen. Die Franzosen sagen allerdings, es sei dem Physiker Poisson und die Engländer, es sei dem Gelehrten Green gelungen, dies zu thun, Sondhaus aber kann die Priorität durch Druckschriften nachweisen und daß Engländer und Franzosen so gütig waren, die schöne Erfindung noch einmal nachzuerfinden, kann uns armen Deutschen nur schmeichelhaft sein, sie haben es mit dem Ohm'schen Elektricitätsgesetz, den Chladni'schen Klangfiguren, Scheibler's Stimmgabeln und mit Schwerdt's Interferenzversuchen gleichfalls glücklich fertig bekommen und allemal die schöne Erfindung zuerst gehabt, aber zufällig zwei bis zehn Jahre später.

Sondhaus' Versuch stützt sich auf die Erfindung des Collodiums; in Aether aufgelöste Schießbaumwolle giebt eine schleimige, gummiartige, leicht trocknende Substanz, welche gestattet, daß man ihr allerlei Formen giebt. Sondhaus formte sich über sehr große linsenförmige Flächen zwei Schüsseln

von Collodium, welche er auf die hier angeführte Weise durch einen Rahmen *amn* zu einer Linse verband. Bei *a* und eben so dieser Stelle gegenüber ganz unten befindet sich eine Oeffnung, durch deren eine man eine beliebige Gasart eintreten lassen kann, indeß durch die andere die Luft entweicht.

Fig. 69.



So füllte nun Sondhaus die hohlen Collodiumhäute mit Kohlensäure, Wasserstoffgas ꝛc., wodurch der durchsichtige Sack zu einer Linse ausgedehnt wurde. Wenn er nun in der Axe der beiden Kugelflächen *rs* eine Uhr dahin brachte, daß sie sich in dem Mittelpunkte des einen Kugelsegments befand (bei *s*) und er brachte in den Mittelpunkt der anderen Fläche das Ohr, so hörte er deutlich das Ticken der Uhr, welches außerhalb dieser Stelle nicht vernommen wurde.

Um jedoch keiner Täuschung zu unterliegen, änderte er den Versuch auf eine sehr sinnreiche Art dadurch ab, daß er an Stelle des Ohres ein kleines Schallrohr *fc* setzte, welches eine Biegung und bei *c* eine horizontale Oeffnung hatte, die mit einem Goldschlägerhäutchen überspannt war, auf welches wie zur Erzeugung der Klangfiguren etwas Sand gestreut war.

Stand dies Instrument nun genau in der Linie *sr* und so, daß es die Stelle des Mittelpunktes der Kugelfläche von *am* einnahm, so ward durch die leise Vibration, welche das Ticken der Uhr erregte, der Sand auf der Fläche *c* in hüpfende Bewegung gebracht.

Es war hiermit bewiesen, daß der Schall gebrochen werden könne, wie das Licht und daß eine Linse von Kohlensäure eine strahlenbrechende Kraft für den Schall habe, gerade wie Glas, Wasser oder Steinsalz dasselbe für das Licht zeigt (auch die Gasarten brechen die Strahlen und daß wir die Sonne früher sehen als sie aufgeht, geschieht lediglich durch die Strahlenbrechung der Atmosphäre).

Von einer practischen Wichtigkeit scheint der Gegenstand [illegible] zu sein, wie etwa beim Lichte, bei welchem die Strahlenbrechung [illegible] eigentlich einen Hauptmoment bildet, indem fast neun Zehntheile [illegible] Instrumente von der Strahlenbrechung Gebrauch machen [illegible]

Organ des Sehens sich ganz allein auf die Gesetze der Strahlenbrechung in verschiedenen Mitteln stützt. Nicht so beim Ohr, bei welchem das Bewußtsein eines Tones lediglich durch Aus- und Einbiegen des Trommelfelles in einer gewissen Geschwindigkeit erreicht wird.

Leitung des Schalles.

Viel wichtiger als die Lehre von der Brechung ist die von der Fortleitung in geschlossenen Räumen, wir mögen dieselbe nun einem fortgesetzten Reflex im Innern der Röhre oder einer noch unbekannten Ursache zuschreiben.

In großen Fabrikräumen, in Speisehäusern, auf Schiffen werden Röhren zur Fortleitung des Schalles angewendet. Der Wachthabende auf dem Mars empfängt aus der Cajüte des Capitains seine Befehle und berichtet seine Beobachtungen durch ein Blechrohr von 1 Zoll Durchmesser und ein paar 100 Fuß Länge, das von der Cajüte zum Mastkorbe geht. In Detentionsanstalten hat man dergleichen Vorrichtungen, sie erweisen sich höchst nützlich und werden deshalb häufig angewendet, aber sie unterliegen auch ganz bestimmten Gesetzen und man muß nicht glauben, daß jeder Klempner sie machen könne; es giebt bestimmte Verhältnisse zwischen Länge und Weite, welche gekannt und eingehalten sein wollen. Ein Rohr von 1 Zoll Weite genügt zur Fortpflanzung auf 150 Fuß, bei doppelter Länge hört man beim Sprechen nur ein verworrenes Geräusch, nicht aber articulirte Töne. Hier muß die Weite schon um die Hälfte vermehrt werden; bei noch größeren Strecken reichen kaum 2 Zoll aus, und würde man Sprachrohre auf meilenweite Entfernungen anwenden wollen, um mündlich zu telegraphiren, so würden die Röhren fußweit sein müssen. Auch die Wendungen, welche die Leitung macht, sind nicht gleichgültig, Ecken müssen durchaus vermieden werden, überall müssen die Wendungen durch Biegungen hervorgebracht werden.

Das unsichtbare Mädchen.

Solche Röhrenleitungen wurden am Anfange dieses Jahrhunderts zu einer anmuthigen Spielerei, zu einer Schaustellung benutzt, welche unter dem Namen „das unsichtbare Mädchen" wohl noch vielen der älteren unter den Lesern dieses Buches bekannt sein dürfte.

Ein elegant gearbeitetes, mitten in einem Saale stehendes hölzernes Gitter umschloß einen viereckigen, ganz leeren Raum. Das Gitter stand scheinbar ganz frei, drei Ständer des Gitters wurden auch von dem Schau-

steller so geschickt verschoben, daß man übersah, wie der vierte Ständer feststehen blieb, worin eben das Geheimniß der ganzen Anlage ruhte.

Auf den vier Hauptpfeilern erhoben sich starke messingne Bogen, welche sich über der Mitte des umgitterten Vierecks vereinigten und an einem doppelten breiten Bande eine blaue Glaskugel trugen, welche vier Trompeten-Schallstücke hatten, die nach den Seiten des Gitterviereks gerichtet waren.

Die Zuschauer richteten nun allerlei Fragen an das unsichtbare Mädchen, welches in der Glaskugel wohnte: die Fragen wurden prompt und mit Geist beantwortet, das Mädchen war durchaus keine gewöhnliche Erscheinung und es trug sich daher fast in jeder Stadt, wohin die Maschinerie gebracht wurde, der Fall zu, daß ein paar phantasiereiche Jünglinge, den höheren Klassen des Gymnasiums angehörig, sich in das unsichtbare Mädchen bis zum Sterben verliebten.

Das Mädchen aber saß in einem Nebenzimmer vor der Mündung eines Sprachrohrs und vor einer nicht leicht zu entdeckenden Bohröffnung in der Thüre, welche ihr eine ganz vollständige Ansicht des aufgestellten Apparates und der denselben umstehenden Personen gewährte. Demnächst waren zwischen ihr und dem Schausteller gewisse Zeichen verabredet, nach denen die Unsichtbare ihre Antworten einzurichten hatte.

Das Sprechrohr, d. h. die den Schall unverstärkt fortleitende Röhre, ging von dem verborgenen Sitz des Mädchens aus, unter dem Fußboden bis nach dem Pfeiler des Gitters, welcher bei der Production unverrückt blieb. Dieser Pfeiler war hohl, eben so eine der oberen Querleisten bis zur Mitte, gegenüber einem der Schallstücke. Hier öffnete sich das Rohr vollkommen frei und der Schall, im Nebenzimmer erregt, ging durch die Röhrenleitung bis dahin, wo er der Mündung der Trompete gegenüber sich in diese ergoß und durch Vermittelung der Kugel wieder aus den Trompeten-Schallstücken zu kommen schien.

Dies war des Pudels Kern. Von Paris bis Petersburg hatte das akustische Wunder das größte Aufsehen erregt und selbst die meisten Physiker waren ungewiß, welchen Zusammenhang die Kugel mit dem sprechenden Mädchen habe, besonders nachdem der Künstler schlau genug gewesen, den Apparat vollständig beweglich zu machen, so daß alle vier Ständer auf Armeslänge im Zimmer umher geschoben werden konnten, was dadurch möglich gemacht wurde, daß der Vermittler zwischen seiner Gehülfin und dem akustischen Instrument geschickt genug auf die Oeffnung im Fußboden trat, welche den einen Ständer des Gitters in eine Fortsetzung des Schallrohres verwandelte. Nach diesem täuschenden Verschieben nahm das Instru-

ment auch jede beliebige schiefe Stellung ein, nur der eine Ständer kam genau dahin zu stehen, wo der Fuß des Künstlers gestanden hatte.

Das Geheimniß wurde durch einen Gastwirth verrathen, mit welchem der Künstler über die Wiederherstellung einer durchbrochenen Mauer in Streit gerieth. Die Durchbrechung war natürlich heimlich und ohne Erlaubniß des Wirthes bei Nacht von dem Mechaniker selbst unternommen und sollte eben so geheimnißvoll reparirt werden. Der, wenn schon übertünchte, doch frische, sichtbare Fleck in der Mauer zeigte, was geschehen, die Polizei nahm Kenntniß von der Sache und es verbreitete sich das Gerücht von dem entschleierten Geheimniß mit Windeseile über Deutschland und bald auch über die angrenzenden Dörfer; wo der Künstler hinkam, trat man ihm mit seinem entschleierten Geheimniß, mit der ganz richtigen Erklärung seiner Maschinerie entgegen; das Interesse war verloren und er dankte dem Himmel, als er den ganzen Apparat noch zu einem leidlichen Preise an das physikalische Cabinet der Universität Breslau verkaufen konnte, woselbst er sich denn auch noch befindet.

Adhäsion des Schalles.

Die Lehre von der Fortpflanzung des Schalles noch mehr verwirrend, unsicher machend, ist der Umstand, daß es nicht einmal einer geschlossenen Röhre bedarf, um den Schall fortzuleiten; eine Dachrinne, auf der oberen Seite ganz offen, thut es schon, ja zwei schräg an einander gestellte Bretter, welche also auch eine Art Rinne bilden, genügen zur Fortleitung des Schalles auf 50 und mehr Fuß; dies findet man am prachtvollsten in dem sechsseitigen Saale der Pariser Sternwarte. Die einspringenden Winkel der Wände setzen sich an der Decke in einer Hohlkehle so fort, daß zwei einander gegenüber liegende vermöge dieser Hohlkehlen vollständig in einander übergehen.

Zwei Personen so gestellt, daß sie durch eine Diagonale des Saales von einander getrennt sind, hören sich gegenseitig, auch wenn sie ganz leise flüstern, natürlich muß der Mund des Einen und das Ohr des Andern in möglichster Nähe zu dem Winkel stehen, welcher den Schall fortleitet.

Hier ist das Räthselhafte die gerade Erstreckung der Wände; bei einer kreisförmigen Linie giebt es eine Construction, vermöge deren man nachweisen kann, daß der Schall durch Reflex von einem Bogen zum andern so gehen müsse, daß er endlich den ganzen Kreis durchläuft und so zu sagen in sich selbst zurückkehrt; dies war den Mathematikern sehr willkommen zur Erklärung der Reflexions-Phänomene, allein bei einer geraden Linie verläßt

sie diese Darstellung gänzlich. Der einmal von einer geraden Wand zurückgeworfene Schall (und wäre er unter einem höchst spitzen Winkel gegen dieselbe gerichtet gewesen) läßt sich durch keine Demonstration wieder zu der Wand zurückführen, so wenig wie man im Stande ist, einem Ball weiß zu machen, er, der unter einem Winkel von 45 Graden gegen eine Wand geworfen und davon zurückgeschleudert worden ist, müsse nun wieder und nochmals dieselbe Wand berühren.

Vielleicht ist es mit dem Schallstrahl in dieser Hinsicht wie mit dem Wasserstrahl, welcher auch den Gesetzen des Stoßes elastischer Körper durchaus nicht folgt, und wenn er z. B. unter einem spitzen Winkel auf eine Wand trifft, nicht jenseits des Berührungspunktes unter demselben Winkel von der Wand abspringt, sondern statt dessen länge der Wand hinschießt, in steter Berührung mit ihr bleibend. Es ist hierbei ohne Zweifel die Adhäsion, das Haften zweier glatter Flächen an einander, das Benetzen, das Anhängen des Wassertropfens an den Eimer zu betrachten, und die Luft adhärirt an vielen Körpern so sehr, daß es große Schwierigkeiten macht, sie davon zu entfernen. Sehr möglich, daß diese bisher noch nicht betrachtete Adhäsion die Hauptursache aller der Gesetzwidrigkeiten ist, welche dem Physiker bei der Lehre vom Schall begegnen. Gesetzwidrigkeiten sind es alsdann auch gar nicht, denn dergleichen kommen wohl unter Menschen, aber nicht unter den Naturkräften vor, es sind die Gesetze nur noch nicht erkannt, nach denen dieses geschieht.

Merkwürdige Beispiele solcher Adhäsion.

In die Reihe solcher baulichen Merkwürdigkeiten gehört der große viereckige Saal am Fuße der großen Treppe des Conservatoire des Arts et Metiers, welcher gewölbt ist und dessen je zwei diagonal entgegengesetzte Ecken ganz dieselbe Eigenschaft haben, wie der obengenannte sechsseitige Saal des Observatoriums; die Kirche von Gloceſter zeigt in ihrer Kuppel dieselbe Schallleitung, wie die Kuppel von St. Paul in London.

Auch von dem Ohr des Dionys zu Syracus erzählte man im Alterthum dasselbe. Es sollte dieser mißtrauische Mann in den Steinbrüchen bei seiner Hauptstadt eine Höhle haben ausmeißeln lassen, in deren oberster verborgener Abtheilung er die leisesten geflüsterten Klagen der unten Eingesperrten habe belauschen können. Noch gegenwärtig zeigt man daselbst eine Höhle, welche den Namen des Dionys führt, von der akustischen Merkwürdigkeit ist dabei aber keine Rede mehr, der Cicerone versichert, der eigentlich wirksame Apparat sei zusammengestürzt.

Wie sehr im Argen noch unsere Kenntniß der Gesetze der Akustik liegt, kann man daraus erkennen, daß es nicht möglich ist, Bauten nach Gesetzen der Akustik auszuführen. Wer würde wohl ein Theater bauen, in welchem man den Souffleur besser versteht als die Schauspieler, oder in welchem man die Sänger nur hört, wenn sie so nahe an den Lampen stehen, daß man glaubt, sie müßten sich die Kleider verbrennen.

Im Theater della Scala in Mailand ist ein Concertsaal von elliptischer Form, der so außerordentlich schön für den Klang der Stimme gebaut ist, daß alle Sänger, welche darin singen, entzückt sind von der Wirkung ihrer Stimme. Als Friedrich der Große das Opernhaus zu Berlin erbauen ließ, befahl er, diesen Saal nachzubilden, und er wurde in dem vordersten Theile des neuen Prachtbaues so genau copirt, daß er auf Zoll und Linie jenem in Mailand gleich war; allein der Erfolg war nicht der erwartete, der Berliner Saal hat nie zu Concerten gebraucht werden können, die Künstler haben das dreimal größere Theater diesem geschlossenen Saale vorgezogen, weil es ihnen leichter wurde, dieses auszufüllen als den Saal.

Fortpflanzung des Schalles durch Wasser.

Es drängt sich einem jeden Taucher, jedem Badenden, der den Kopf unter Wasser hält, die Bemerkung auf, daß er höre, obschon beide Ohren durch Wasser luftdicht verschlossen sind.

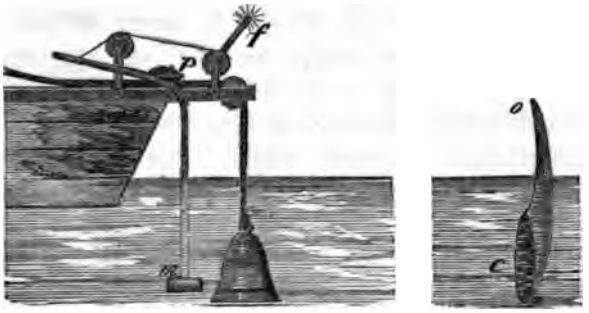
Dies allein hätte den Zweifel über die Elasticität des Wassers heben können. Jetzt allerdings ist man so weit, dieselbe durch Experimente nachweisen zu können, aber auch die Schallleitung des Wassers ist durch Experimente erwiesen, wenn nicht schon dieses Beweis genug gewesen wäre, daß alle Fische und sonstige im Wasser lebende Wirbelthiere deutlich ausgebildete Gehörorgane haben, welche unnöthig wären, wenn man im Wasser nicht hörte; die Natur macht nichts Unnöthiges.

Schon Franklin machte Versuche über die Fortleitung des Schalles unter Wasser, indem er ein paar Steine innerhalb desselben zusammenschlagen ließ und nun beobachtete, ob und wie weit sich der Schall fortpflanze. Genauere Versuche stellte Wünsch in Frankfurt a. O. im Jahre 1788 an (damals eine Universität), die großartigsten Versuche wurden aber im Genfersee durch Sturm und Colladon auf folgende Weise gemacht:

Der größte Theil der Fig. 70 auf der folgenden Seite stellt das Ende eines Bootes dar, an welchem eine metallene Glocke hängt, die sich etwa 4 oder 5 Fuß unter Wasser befindet. *m* ist ein Hammer, mittelst dessen die Glocke angeschlagen werden kann, welches durch den Hebel *p*

geſchieht. Dieſer Hebel aber ſetzt mittelſt einer Schnur, welche über eine Rolle läuft, eine brennende Stopine *f* in Bewegung, welche, ſo lange der

Fig. 70.



Hammer *m* in ſchräger Lage weit von der Glocke abſteht, nahezu horizontal hinter einem Schirm verborgen liegt, in dem Augenblick aber, wo der Hebel den Hammer zum Anſchlag in Bewegung ſetzt, durch denſelben Mechanismus gehoben wird und bei dem Anſchlag an die Glocke über dem Schirm ſichtbar ſteht.

Der zweite Theil der Figur befindet ſich meilenweit von dem erſten. Ein Beobachter hält eine Tertienuhr gehemmt in ſeiner Hand, mit dem Daumennagel auf der Hemmung, um dieſelbe unmittelbar nach Erblickung des Feuerzeichens löſen zu können. Derſelbe hat ſein Auge auf das ferne Boot mit der Glocke gerichtet, deſſen Standpunkt er an dem matten Schimmer der Stopine hinter dem Schirm erkennen kann.

Im Waſſer zur Hälfte und zur Hälfte an Bord des Bootes befindet ſich ein Hörrohr *oc* von Metall, deſſen untere weite Oeffnung mit einer naſſen Blaſe ſtraff überſpannt iſt, ſo daß kein Waſſer in das Rohr dringen kann.

Das Ohr des Beobachters ruht an der Mündung *o* des Hörrohrs; in dem Augenblick, wo er den Lichtblitz (das Zeichen, daß nunmehr die Glocke tönt) erſieht, löſt er die Hemmung der Uhr, und in dem Augenblick, wo er den Ton hört, läßt er dieſelbe wieder einſpringen; nun hat er den Zeitraum auf ſeiner Uhr feſtſtehend, welcher gebraucht worden iſt, von dem Augenblick des Anſchlagens der Glocke bis zu dem des Anſchlagens des fortgepflanzten Tones an ſein Ohr.

Es haben die hier angeführten vielfach wiederholten Verſuche dargethan, daß das Waſſer nicht nur den Schall leitet, ſondern daß es ihn 4½ Mal geſchwinder und beſſer leitet als die Luft.

Untersuchungen über andere Flüssigkeiten.

Oersted hat es versucht, durch Experimente und durch Rechnung die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit des Schalles in andern flüssigen Substanzen zu ermitteln. Dies ist eine so müßige Spielerei, daß man nur erstaunen muß, wie ein Mann, dem doch an der Erhaltung seines zufällig erworbenen Ruhmes in den Naturwissenschaften etwas liegen mußte, dergleichen zu nichts führende Untersuchungen aufnehmen mochte. Hat er nicht Röhren von 12—15,000 Fuß Länge, welche mit Oel, Spiritus u. s. w. gefüllt sind, so läßt sich ein directer Versuch gar nicht machen, das Mittel, welches man bei festen Körpern anwendet, sie als Stäbe longitudinal schwingen zu lassen und aus der Höhe des Tones die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit zu berechnen, läßt sich bei Flüssigkeiten nicht anwenden, weil man dieselben nicht in Stäbe formen, und wenn sie in stabförmigen Gefäßen enthalten sind (in Röhren) sie nicht isolirt zum Tönen bringen kann.

Hauptsächlich aber ist die ganze Untersuchung nutzlos; zu wissen, wie schnell die Luft oder das Wasser den Schall fortpflanze, ist von großer Wichtigkeit, weil diese beiden Medien die Erde in ungeheuren Massen bedecken; zu wissen, wie schnell der Schall sich in Weingeist, Rüböl oder Schwefelsäure fortpflanzt, ist höchst gleichgültig, weil es nirgends Meere von Spiritus oder Brennöl giebt, bei denen man die Schallleitung benutzen könnte. Nur das Practische hat Werth.

Fortpflanzung des Schalles in festen Körpern.

Die Versuche hierüber sind von Chladni angestellt und zu einem Resultat von seltener Schärfe gediehen. Das zuerst im Großen Durchgeführte möge als ein Curiosum hier stehen, jedoch nicht als etwas, das irgend wie Werth für die Wissenschaft hätte.

Dr. Wünsch nahm auch diese Versuche zu Frankfurt a. O. im Jahre 1788 auf. Er fügte 36 Latten von 24 Fuß Länge mittelst Zapfen zusammen, gab denselben einen rechten Winkel in der Mitte und erhielt so ein Dreieck, dessen beide hölzerne Katheten 864 Fuß maßen, indeß die Hypotenuse 620 Fuß lang war. Die Hypotenuse war nicht geschlossen, denn es handelte sich um den Vergleich, in welchem Körper der Schall geschwinder gehe, ob in der Luft oder im Holze. Wünsch erzählt nun, das Ohr an dem einen Ende der Latten habe einen Schlag, der am andern Ende mittelst eines Hammers darauf geführt wurde, augenblicklich vernommen, indeß der

Schall, durch die viel kürzere Hypotenuse in der Luft gehend, $\frac{1}{2}$ Secunde später ankam.

Hieraus glaubte Wünsch schließen zu können, daß der Schall im Holze die Schnelligkeit des Lichtes habe. Der wackere Gehler macht hierzu die sehr vernünftige Bemerkung: der Schall gehe demnach durch feste elastische Körper bei weitem schneller als durch die Luft, aber hieraus schließen zu wollen, er ginge so schnell wie das Licht, dazu sind die Distanzen viel zu kurz und die Versuche viel zu roh. Man setze seine Geschwindigkeit im Holze nur 100 Mal so groß als in der Luft (er hätte dreist das richtige Verhältniß 18 Mal so schnell annehmen dürfen, sein Exempel hätte auch noch gepaßt), so wird er, um durch die 864 Fuß lange Stange zu laufen, nur vier Zehntheile einer Tertie brauchen, eine Zeit, welche durch keines Menschen Sinn bemerkt werden kann, sie ist zu kurz, um aufgefaßt oder unterschieden zu werden; was also durch einen solchen Zwischenraum der Zeit (kleiner als der 120ste Theil einer Secunde) von einander geschieden ist, wird als gleichzeitig angesehen werden. Aber die Geschwindigkeit, mit welcher in diesem Falle der Schall ginge, ist doch nun noch beinahe 10,000 Mal geringer als die des Lichtes.

Chladni's Methode.

Eine so unbequeme und unpractische Methode schlug nun Chladni keineswegs ein. Er verglich die Höhe der Töne, welche verschiedene feste Substanzen geben, mit der Höhe einer Orgelpfeife von derselben Länge. Gesetzt die Länge der Pfeife sei 3 Fuß gewesen und er habe von verschiedenen Körpern gleich lange Stäbe gehabt, diese seien in der Mitte festgehalten und durch Reiben in Longitudinalschwingungen gesetzt, wie die offene Orgelpfeife durch das Anblasen, so läßt sich durch die Höhe des Tones, welche diese Stäbe angeben, sehr genau die Schwingungsanzahl ermitteln, wenn man nur die des Tones der Orgelpfeife kennt. Gesetzt diese Schwingungsanzahl wäre 400, der gleich lange Silberstab aber gäbe einen Ton, welcher der dritten höheren Octave einer Orgelpfeife entspräche, so würde man mit vollkommener Sicherheit schließen können, dieser Stab mache 8 Mal so viel Schwingungen in einer Secunde als die Luft in der Pfeife. Wäre es aber ein Stab von Tannenholz und er gäbe gar die vierte höhere Octave, wie die gleich lange Luftsäule der Orgelpfeife, so würde man mit Recht sagen, der Holzstab schwingt 18 Mal so schnell als der Luftstab (d. h. die Luftsäule in der gleich langen Orgelpfeife).

Dies ist nun aber das Maaß der Elasticität. Je schneller ein Kör-

Schwingungen macht, desto elastischer ist derselbe und zwar genau in dem Verhältniß der Schwingungszahlen.

Es hat dies zu sehr unerwarteten Resultaten geführt. Man wird glauben, daß unter den festen Körpern nichtmetallischer Art Fischbein einer der allerelastischsten wäre, er ist es nicht, er ist es beinahe am wenigsten, er ist $6^2/_3$ Mal so elastisch als die Luft, schon Nußbaum, Taxus, Eiche und Pflaumenbaumholz ist viel elastischer, nämlich $10^1/_2$ bis $10^2/_3$ Mal, Birnbaum, Rothbuchen und Ahornholz sind 12 Mal, Akazien, Acajon, Ebenholz, Hagebuchen-, Erlen-, Ulmen- und Birkenholz sind 14 Mal, Linden- und Kirschbaumholz 15 Mal, Weiden- und Pinienholz 16 Mal, Tannenholz 18 Mal so elastisch als Luft, machen so viel Mal mehr Vibrationen in gleicher Zeit und bei gleicher Länge als diese, und leiten den Schall so viel Mal schneller.

Die auffallendsten Thatsachen sind, daß so weiche Hölzer, wie Linden- und Weidenholz, eben so elastisch sind als außerordentlich feste, wie Kirschbaum-, Acajon- und Ebenholz; daß Tannenholz unter allen das elastischste ist, allein es hat dies auch nur Beziehung auf die Längsrichtung, quergeschnitten sind die Hölzer bei weitem nicht so elastisch, geben auch wegen mangelnder Homogenität gar keine Töne, geben dem Eindruck nach, ohne ihre frühere Form anzunehmen; sie können also nur in ihrer Längendimension auf Elasticität geprüft werden.

Bei den Metallen stößt man gleichfalls auf viele Sonderbarkeiten; so ist Zinn beträchtlich elastischer als Fischbein, nämlich $7^1/_2$ Mal so elastisch als Luft, Fischbein nur $6^2/_3$; dagegen ist Silber nur eben so viel elastischer als Zinn; Kupfer aber ist 12 Mal so elastisch als Luft, und Messing, das man jedenfalls für elastischer halten würde als Kupfer, ist es weniger, nämlich nur 10 Mal; der Thon der irdenen Pfeifenröhren, wenn sie gebrannt sind, ist so elastisch wie das Messing; Glas aber ist 16 Mal so elastisch als Luft und gerade so auch Eisen und Stahl.

Diese Versuche haben große practische Wichtigkeit. Es wird Niemand ein musikalisches Instrument aus Tannenstäben zusammensetzen, als etwa ein Russe Gusikoff, oder ein Südseeinsulaner die sogenannte Strohfiddel (Holzgelächter, Stroh- und Holzinstrument, welches von den Neuseeländern und den Böhmen oder Nordasiaten in vollkommen gleicher Weise gemacht wird), aber welcher Balken am besten trägt, der von Tannen- oder der von Nußbaumholz, der von Pinien- und Lerchen- oder der von Rothbuchenholz, ergiebt sich hieraus, eben so, warum man den Resonanzboden aller Saiteninstrumente von Tannen- und ihre Körper von Ahornholz macht.

Schwingungszahlen. Scheibler's Methode.

Um zu solchen Resultaten zu gelangen, muß man übrigens die Schwingungszahl der Orgelpfeife kennen. Wir haben bereits oben gesehen, daß man dies auf vollkommen directe Weise bewerkstelligen könne, indem man einfach die Schwingungen zählt; dies ist durch die Sirene möglich, von welcher wir bereits gesprochen. Dem in der Lehre vom Klange hoch berühmten Seidenfabrikanten Scheibler ist es aber gelungen, eine Methode zu ersinnen und auszuführen, mittelst deren man vollständig genau zählen kann, Schwingung für Schwingung, wie viele derselben ein Ton macht. Die Methode ist umständlich, aber sehr genau und sehr belehrend.

Man verfertigt sich Stimmgabeln, welche sich eine von der anderen, die zweite von der dritten, diese von der vierten um ein gewisses, wenn schon geringes Maß unterscheiden.

Wenn zwei Saiten eines und desselben Tones auf dem Clavier nicht vollständig im Einklange sind, so wird man den Ton anschwellen und [illegible] wieder anschwellen und sinken hören, es geschieht dies um so schneller, je weniger die beiden Saiten zusammen stimmen. Man nennt dieses „Schläge oder Battements".

Hören die Schläge immer schneller werdend auf, so nennt man Verstimmung ein, hören sie immer langsamer werdend auf, so nennt Gleichheit der beiden Töne, Verbindung derselben zu einem Ton an, dann soll das Piano gestimmt sein.

Läßt man sich Stimmgabeln machen, wovon eine einen bestimmten Ton ganz rein angiebt, und man schleift und feilt an der nächsten so lange, bis sie in einer Secunde vier Schläge mit derselben macht, tiefer werdend, dann klingt der Ton fast ganz so als der Grundton, er macht aber doch vier Vibrationen weniger im Laufe einer Secunde. Zu der zweiten Stimmgabel macht man sich eine dritte, welche gleichfalls vier Schwingungen weniger macht, d. h. welche nur äußerst wenig, um ein beinahe unhörbares, wohl aber noch zählbares verschieden ist von der zweiten; man macht sich nun eine vierte, welche von dieser dritten wieder so verschieden ist, wie die dritte von der zweiten ꝛc.

Es kommt dabei auch gar nicht darauf an, daß es gerade vier Schläge sind, es können auch drei, fünf oder sechs sein, wenn es nur ganz genau sechs in einer Secunde sind, ein Bruchtheil darf dabei nicht vorkommen, das „beinahe" muß ausgeschlossen bleiben, es muß Alles genau sein.

Man wird nach und nach zu einer ganzen Reihe von Stimmgal

gelangen, bei welcher eine jede von der nächsten nur äußerst wenig, bei der denn doch aber die letzte von der ersten schließlich um eine ganze Octave verschieden sein wird.

Bis dahin will man kommen, eine ganze Octave und zwar höchst genau eine ganze Octave will man haben, eben so wie die einzelnen Schläge, welche jede Stimmgabel von der andern unterscheiden, auch ganz genau in der Secunde auskommen müssen, und die Zahl nicht überschreiten dürfen, welche man noch sehr bestimmt in Zeit einer Secunde laut zählen kann, so daß wohl sechs als die äußerste Grenze anzusehen sein dürfte. Zu diesen Versuchen bedient man sich eines Secunden schlagenden Pendels und zählt nicht für jede einzelne Secunde die Battements, sondern etwa ein- für allemal für fünf, also nicht drei und drei und wieder drei, sondern funfzehn, wobei Beginn des Zählens und Schluß des Zählens mit dem Secundenschlage eintreten muß; in kurzer Zeit übt man sich auf solches Zählen ein. Es muß jedoch nochmals bemerkt werden, daß für jede Secunde immer eine ganze Zahl herauskommen muß, mit 14 Battements oder mit 16 in 5 Secunden könnte man nichts anfangen, wohl aber mit 10, 15, 20, 25, denn es handelt sich ja immer darum, die vollen Schläge in einer Secunde zu zählen und den Zeitraum von 5 Secunden wählt man nur, um zu einer größeren Genauigkeit gelangen zu können.

Resultat der Untersuchungen.

Wir sind endlich mit unseren Stimmgabeln an der Octave angelangt, nun zählen wir die einzelnen Schläge jeder Stimmung und die Rechnung wird folgende:

die zweite Stimmgabel machte 4 Schläge gegen die erste,
" dritte " " 3 " " " zweite,
" vierte " " 5 " " " dritte,
" fünfte " " 4 " " " vierte,
" sechste " " 6 " " " fünfte

und so weiter fort, bis wir zu der letzten Stimmgabel gelangen, welche wieder irgend eine Anzahl von Schlägen mit der vorletzten macht.

Wir addiren nunmehr die Zahlen der mittelsten von den drei Reihen. Wir wollen ganz beliebig annehmen, es seien 145 gewesen, so würde dies uns folgenden mathematischen Schluß zu machen berechtigen:

Von dem höheren Ton bis zur nächsten tieferen Octave bestehen 145 Vibrationen (so viel Mal treffen je zwei verschiedene Stimmgabeln in ihren Reihen von dem angenommenen Ton bis zur ersten tieferen Octave

zusammen). Jede höhere Octave hat doppelt so viele Schwingungen als die nächste tiefere, hat also die Stimmgabel, von der wir ausgingen, um ihren Ton zu halten 145 Schwingungen mehr als die untere Octave, so macht sie überhaupt 290 Schwingungen in der Secunde, denn 145 ist ja genau gezählt die Zahl der Schwingungen, welche sie mehr macht als die untere, sie macht aber doppelt so viel als die untere und 290 ist doppelt so viel als 145.

Auf diese Weise hat Scheibler wirklich die Schwingungen gezählt und es stimmt seine Zählweise ganz genau mit den Zahlen der Sirene zusammen. Auf diese Weise ist es auch möglich, Instrumente (Flügel, Orgeln) zu stimmen, ohne selbst musikalisch zu sein. Man muß nur so viele Stimmgabeln haben, als Töne zu stimmen sind, man hört nämlich nicht, ob der Ton höher oder tiefer ist, sondern zählt die Stöße, und wenn man mit der Stimmung so weit gediehen ist, daß die Stimmgabel mit dem ihr gleich sein sollenden Ton keine Stöße mehr giebt, dann sind beide Töne gleich.

Der Tartini'sche Ton.

Aus dem Zusammentreffen der Battements verschiedener Töne können sogar neue Töne entstehen, hierher gehört der sogenannte Tartini'sche Ton, welcher jedoch 10 Jahre, bevor Tartini darüber schrieb (1754), von Andreas Sorge (1745) entdeckt wurde.

Wenn man nämlich zwei recht reine Stimmgabeln, die um eine Quinte aus einander stehen, gleichzeitig anschlägt, so trifft, da bei diesen Intervallen in allen Octaven und in allen Tonarten die Schwingungszahl der beiden Töne sich wie 2 zu 3 verhält, jederzeit die zweite Schwingung der tieferen Stimmgabel mit der dritten Schwingung der höheren zusammen.

Dies ist auch bei sehr tiefen Tönen viel zu häufig, um gezählt, um als Battement aufgefaßt zu werden, allein neben den 200 Schwingungen der einen und den 300 Schwingungen der andern Stimmgabel hört man noch vermöge des Zusammentreffens von je 2 und 3 eine dritte Reihe von Schwingungen, und zwar genau 100 in derselben Zeit, in welcher die eine Stimmgabel 200, die andere 300 macht.

Diese 100 resultirenden Schwingungen geben denjenigen Ton, den man den Tartini'schen nennt und der, wie aus den Zahlen hervorgeht, immer die tiefere Octave des tieferen der beiden Töne sein muß.

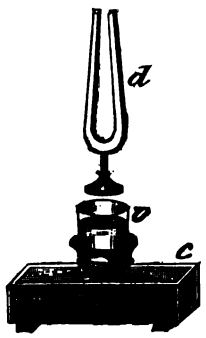
Es versteht sich von selbst, daß es nicht auf die Zahlen 200 und 300, sondern auf das Verhältniß von 2 zu 3 ankommt, also 100 und 150 geben genau dasselbe in einer tieferen Octave, der Tartini'sche Ton wird

dann 50 Schwingungen haben oder der Grundton hat 90 Schwingungen, die Quinte desselben folglich 135. Das Zusammentreffen von 2 des ersten und 3 des andern Tones giebt 45, die Hälfte von 90, d. h. die tiefere Octave dieses Tones.

Daß es nicht Stimmgabeln zu sein brauchen, mit denen dies Experiment gemacht wird, versteht sich von selbst; zwei Mitteltöne eines Flügels, eines Violoncells geben dasselbe, am deutlichsten aber geben es die Orgeln, und Abt Vogler gründete darauf eine Vereinfachung dieses kostbaren Instruments, indem er eine ganz tiefe Octave, d. h. gerade die größten, also kostbarsten Pfeifen weggelassen, und den Ton durch Anschlag der nächsten Octave und ihrer Quinte hervorgebracht wissen wollte, wodurch denn auch geringere Bälge erforderlich gewesen wären, weil die tiefsten Töne den meisten Wind fordern; allein wenn er auch mit solcher Orgel sehr gut fertig wurde, so wollten sich die Organisten im Allgemeinen nicht darin finden und die Vereinfachung unterblieb, wurde wenigstens nicht durchgreifend.

Wir haben bereits davon gesprochen, daß Töne sich durch Flüssigkeiten wie durch feste Körper fortpflanzen, merkwürdig ist aber, daß der Ton sich durch Flüssigkeiten wieder in die Luft in verstärktem Maße senden läßt.

Fig. 71.



Ist *d* eine Stimmgabel und *c* ein hölzerner Kasten, welcher denselben Ton hat wie die Stimmgabel und wie wir deren oben bereits beschrieben haben, so kann man den Ton der Stimmgabel durch die Resonanz des Kastens beträchtlich verstärken, wenn man ein Glas Wasser *v* auf den Kasten setzt und die Stimmgabel (der man zu diesem Behuf einen breiten Fuß von Holz giebt) mit dem Wasser in Berührung bringt. In dem Augenblick, wo dies geschieht, vibrirt (durch das Wasser in Bewegung gesetzt), die Luft in dem Kasten und verstärkt den Ton.

Fortpflanzung der Töne durch feste Körper.

Eben so pflanzen, wie wir aus dem oben Gesagten schon entnehmen können, die festen Körper den Ton fort. Wir haben über die Geschwindigkeit, mit welcher dies geschieht, gesprochen, wir wollen nunmehr noch einige Beispiele, daß und wie es geschieht, hinzufügen.

Das einfachste und Niemandem mehr auffallende Beispiel solcher Fortpflanzung durch die festen Körper ist jedenfalls dies, daß man auf der

Straße die Musik im Concertsaale, daß man in seinem Zimmer das Clavierspiel im Nebenhause oder im oberen Stockwerk hört, wenn schon überall Thüren und Fenster verschlossen sind.

Daß der Schall dabei nicht durch Ritzen und Schlüssellöcher kriecht und schleicht, braucht wohl kaum gesagt zu werden.

Wie außerordentlich empfindlich feste Körper für die Fortpflanzung des Schalles sind, geht z. B. daraus hervor, daß, wenn man an einem 70 bis 80 Fuß langen Balken sein Ohr legt und Jemand auf das andere Ende desselben Balkens einen kleinen Körper, ein Schrotkorn, ja nur eine Stecknadel fallen läßt, man dies durch die 80 Fuß hindurch deutlich hört, während man es durch die Luft nicht auf 10 Fuß hören würde.

Wenn zwei Personen ein dünnes hölzernes Stäbchen von beliebiger Länge mit den Enden zwischen den Zähnen halten und der Eine spricht dabei noch so leise, so hört der Andere genau, was jener gesagt. Der Verfasser hat dies mit einem Apparat zur Verstärkung des elektrischen Funkens, welcher 360 Fuß lang war, versucht und noch vollständig hören können, so wie er gehört wurde. Der Apparat bestand aus 30 dünnen Tannenholzstäbchen, die mittelst an den Enden befestigter Kugeln so zusammengesetzt waren, daß sie eine Art viereckiger Spirale bildeten, deren äußerste Seite 14 Fuß lang, dann bei jeder einmaligen Windung um einen Fuß kürzer wurden. Bei 9 Windungen waren dann die innersten Stäbe nur 6 Fuß lang.

Diesen Apparat brachte der Verfasser in eine ununterbrochene Linie und hing ihn an Fäden auf. Wenn das eine Ende zwischen die Zähne genommen und an das andere eine kleine Stimmgabel gehalten wurde, nachdem sie auf einen Resonanzboden gehalten, nicht mehr hörbar tönte, so war sie doch selbst bei diesen geringen Schwingungen noch deutlich an dem Stabe zu hören. Man kann dies Experiment, wie sich der Verfasser überzeugte, sehr vereinfachen, wenn man statt der langen zusammengesetzten Stäbe eine Schnur oder einen Bindfaden zwischen die Zähne nimmt und an das andere Ende desselben, den man scharf gespannt hält, eine Stimmgabel bringt. Es werden hierdurch die Töne vollständig und mit großer Energie fortgepflanzt.

Von dieser Leitungsfähigkeit fester Körper für den Schall kann sich ein Jeder leicht überzeugen, wenn er an einem eisernen Ladestock, einem silbernen Löffel oder einer Stimmgabel einen Bindfaden knüpft und das Metall durch Anschlagen zum Tönen bringt. Das Klirren des angeschlagenen Körpers wird man wohl hören, einen Ton aber nicht, auch bei der größten Aufmerksamkeit.

Nun aber nehme man die beiden Enden des Bindfadens über die Zeigefinger der beiden Hände und stecke die Spitzen der Finger in die Ohren. Wenn nun die Stimmgabel oder der Ladestock angeschlagen wird, so glaubt man den tiefen, sonoren Ton einer prächtigen Kirchenglocke zu hören.

Vortheile für Harthörige.

In dieser Fortleitung des Schalles durch feste Körper liegt ein vortreffliches Mittel für harthörige Leute, sich der Musik, wenigstens des Piano's zugänglich zu machen. Wenn sie ein federkieldickes Stäbchen von Tannenholz an den Resonanzboden desselben stützen und das andere Ende zwischen die Zähne nehmen, so werden sie jeden Ton hören, wenn auch die Harthörigkeit schon einen sehr hohen Grad erlangt hat. Auch gegen das Violoncello oder die Geige gestützt, vermittelt der Stab das Hören für den Gehörkranken, nur läßt sich dies nicht so leicht ausführen als mit dem feststehenden Tasteninstrumente.

Auch die Kopfknochen leiten den Schall zum Ohre und die Zähne eben nur dadurch, daß sie in den Knochen des Kopfes festsitzen. Wenn man eine nicht mehr hörbar schwingende Stimmgabel auf den Hirnschädel drückt, so hört man den Ton noch vollkommen deutlich.

Wie weit sich selbst unter ungünstigen Umständen der Schall durch feste Körper fortpflanzt, kann man daran wahrnehmen, daß die Mineurs in ihren oft tausende von Schritten entfernten Gängen einander arbeiten hören, daß sie auf solche Weise sich aufsuchen, entgegen gehen oder ausweichen, eine Trommel, auf den Minengang gestellt, zeigt die Schwingungen, welche der Erdboden durch die Hacke erhält, deutlich an, indem sie zittert. Man legt auf die obere Fläche ein paar Steinchen und kann dieselben deutlich springen sehen und hören, ja dies ist die Methode, den Mineur aufzufinden. Man geht bei Nacht auf dem Glacis der belagerten Festung mit der Trommel umher und setzt sie bald da, bald dort auf den Erdboden, sobald die Steinchen auf dem Trommelfell deutlich hörbar zittern, befindet man sich in der Nähe des Mineurs. Man geht nun mit der Trommel immer weiter, bis man die Bebung am deutlichsten hört und beim Weiterschreiten dieses Zittern wieder abnimmt, dann hat man den Fleck gefunden, unter welchem der Mineur seine geheimnißvollen und verderblichen Arbeiten treibt, und man erdrückt ihn gewöhnlich durch eine Flattermine, indem man auf den Fleck, wo er vermuthet wird, eine Petarde setzt oder möglichst geräuschlos und ohne Anwendung einer Hacke ein Loch gräbt, in dieses ein Faß Pulver legt und dann durch eine Stopine oder jetzt durch den elektrischen Strom

anzündet. Dadurch wird zwar Erde hinaufgeworfen, aber es wird eben ſo gut dieſelbe nach unten gedrückt, der Minengang verſchüttet und der Mineur darunter begraben.

Den Marſch einer Cavalleriecolonne kann man auf 3 bis 4 Meilen ganz deutlich hören, wenn man ſein Ohr auf den Erdboden drückt, und den Kanonendonner hat man auf 80 Meilen durch Fortpflanzung durch die Erde vernommen. Die Belagerung von Antwerpen iſt in den Gruben von Freiburg gehört worden.

Die Fortpflanzung des Schalles durch die Zähne iſt benutzt worden, um Taubſtumme hören zu machen, wenn die Taubheit nicht von einem inneren, organiſchen Fehler, ſondern nur von fehlerhafter Bildung der äußeren Gehörwerkzeuge herrührt. Ein Mann, der ſich um den Unterricht der Taubſtummen ſehr verdient gemacht hat, der Abbé Cot, ſprach zu ſolchen Leuten durch ein gewöhnliches Hörrohr, deſſen dünnes Ende ſie zwiſchen den Zähnen feſthielten und ſie hörten nicht nur, ſondern ſie waren ſogar im Stande, die articulirten Töne wiederzugeben. Wenn derſelbe ihnen eine Spieldoſe ſo zwiſchen die Zähne gab, daß dieſelben den oberen und den unteren Rand einer ſolchen faßten, ſo zeigte die außerordentliche Freude, die ſie kund gaben, daß ſie nicht nur hörten, ſondern daß ſie auch empfänglich waren für die Lieblichkeit der harmoniſchen Klänge.

Die Anwendung dieſer Fortpflanzung des Schalles durch feſte Körper auf den Unterricht der Taubſtummen iſt übrigens nicht durch Abbé Cot, ſondern durch Strauß Dürkheim erfunden und ausgebildet worden.

Weite Erſtreckung der Vibrationen.

In welchem Grade ſtark und mächtig ſich Vibrationen durch feſte Körper fortpflanzen, davon giebt uns Dove in ſeinem wiederholt angeführten Werke die intereſſanteſten Belege.

Ueber eine lange hölzerne Brücke darf Militair nicht im Tritt marſchiren, denn die ſchwingende Erſchütterung wird zuletzt ſo heftig, daß ſie dem Gefüge des Ganzen nachtheilig wird. Bei dem Verſuch mit der Hängebrücke in Wien beſtand der Unſinn, durch welchen mehrere hundert Menſchen getödtet oder auf das Grauſamſte verſtümmelt wurden, nicht ſowohl darin, daß man Menſchen als Gewichte verwandte (wiewohl es eine entſetzliche Nichtachtung der Menſchenleben verräth und allenfalls für Nordamerika, aber nicht für einen civiliſirten Staat mitten in Europa gepaßt hätte — man ſchickt eine Reihe ſchwer beladener Wagen, ſelbſt ohne Beſpannung und Führer, durch lange Seile gezogen, hinüber), ſondern darin, daß man

das zu dieser Todesgefahr commandirte Regiment im Tritt über die Brücke marschiren ließ, da denn natürlich die immer wiederholten und immer heftiger werdenden Schwingungen die Ketten zerrissen und die Tragepfeiler stürzen machten.

Die Kunst des Seiltänzers beruht eben so auf dem Einhalten der taktmäßigen Schwingungen des Seiles, wie die Geschicklichkeit des Indianers schnell über eine Hängebrücke zu laufen.

Fährt ein Wagen im gleichmäßigen Trabe durch das Portal des königlichen Schlosses in Berlin, so vibriren die 80 Fuß über dem Pflaster liegenden Fenster der dritten Etage so heftig, daß sie den im Zimmer Sprechenden überschreien.

„In meiner Kindheit habe ich (Dove) oft einen hohen Thurm bestiegen, in welchem das Zimmer des Thürmers sich in einer höheren Etage als der Glockenstuhl befand. Die Wände dieses Zimmers waren mit Bildern verziert, welche in regelmäßigen Schwingungen das Geläute der Glocken begleiteten. Mein Erstaunen über diese Erscheinung verschwand, als mir später die Erfahrung bekannt wurde, welche man im vorigen Jahrhundert in England machte."

Ellicot's Experiment.

Der Uhrmacher Ellicot erzählt in den Phil. Trans. von 1741, daß er an der Wand seines Zimmers zwei gleich große Pendeluhren aufgehängt habe, von denen die eine ging, die andere aber stand. Zu seiner Verwunderung fing nach Verlauf einiger Stunden die andere Uhr an zu gehen, ohne daß man sie angestoßen hätte. Ellicot hielt die eine Uhr an und beobachtete nun sorgfältig den Vorgang der Mittheilung der Bewegung; bald bemerkte er eine ganz leichte Schwingung des Pendels, die stärker und immer stärker wurde, bis abermals nach zwei Stunden die Pendelbewegungen stark genug geworden, um eine Auslösung des Echappements zu bewirken, worauf das Gewicht dann die nun einmal in Gang befindliche Uhr weiter trieb.

Das gleichförmige Schwingen des einen Pendels hatte die Mauer des Zimmers (und da dieses sich nicht ohne die andern damit verbundenen Theile bewegen kann, das ganze Haus) in kleine Bewegungen versetzt, die sich in gleichem Maße addirend das frei herabhängende Pendel der andern Uhr in immer größeren Schwingungen versetzten und endlich veranlaßten, daß die Uhr in Gang kam. Es hätte ein Erdbeben das Haus erschüttern müssen,

um diesen Erfolg auf einmal zu erzielen, mit diesen kleinen, bei jedem andern Werkzeuge unmeßbaren Bewegungen gelang es.

Wer einmal die Uhren betrachtet hat, welche, einem Uhrmacher zur Reparatur übergeben, gewöhnlich als Aushängeschild vor den Fenstern zu sehen sind, wird bemerken, daß die meisten derselben in tüchtiger Bewegung sind. Die kleine Unruhe, welche nicht den 2000sten Theil des ganzen Werkes wiegt, hat durch ihre Schwingungen die Uhr in solche Bewegung gesetzt, daß dieselbe pendulirt, als ob sie mit Absicht dazu gebracht wäre, indeß im Gegentheil der Uhrmacher dies zu hindern sucht, da die Uhr durch solche Schwingungen zu schnell geht.

Das nähere Studium dieses interessanten Falles nimmt demselben allerdings viel von seinem Wunderbaren, denn die Uhren haben nicht an einem Nagel in der Mauer gehangen, sondern an einer Leiste, welche zur Aufnahme der Uhren bestimmt, mehrere Knaggen oder Haken hatten, und welche durch einige starke Nägel in der Mauer befestigt war. Wenn nun eine Uhr durch ihre Pendelbewegung eine andere in Thätigkeit setzen sollte, so brauchte sie wenigstens nicht die ganze Zimmerwand zum Vibriren zu bringen, obschon nicht viel Unterschied in dem Verhältnisse zwischen einer Wanduhr und einer Mauer derselben und einer Dreiöse und dem Berliner Königsschlosse andererseits sein dürfte, und diese letztere setzt doch wirklich das Schloß in zitternde Bewegung.

Hier aber scheint eine Uebertragung der Schwingungen nur durch Vermittelung der elastischen Holzleiste stattgefunden zu sein. Die eine Uhr brachte den Pendel der andern in Schwingung, bis die Räder zu wirken begannen, [illegible] war dies nicht der Fall, die andere Uhr setzte zwar auch den Pendel der ersten in Schwingung, [illegible] nicht bis dahin, daß die Uhr gegangen, daß die [illegible] der Hemmung erfolgt wäre. Ellicot schreibt dies der Verschiedenheit der Pendel zu, machte aber noch Versuche über das Verhalten derselben. Die Uhren gingen etwas verschieden, die eine derselben ging binnen 24 Stunden 1 Minute und 36 Sekunden geschwinder als die andere; wenn sie beide in Gang waren, so war der merkwürdige Fall der, daß immer [illegible] bei dem einen Pendel [illegible] gleichzeitig der andere [illegible] Schwingungen machte, daß sie sich nur immer mehr näherten, [illegible] Schwingungen machten und hierauf ihre Bewegung veränderten, so daß der vorher [illegible] Pendel [illegible], dagegen [illegible], der vorher die kleineren Schwingungen machte, nun weiter [illegible]

Austausch der Schwingungen.

Das Resultat dieses Austausches der Bewegung war, daß beide Uhren auf das Vollkommenste gleich gingen, nicht einmal mehr um einige Secunden abwichen, sie hatten jedoch ihre Individualität nur verloren, so lange sie an derselben Leiste hingen, denn sobald sie gesondert, jede Uhr an einer andern Wand befestigt waren, machte jede für sich den Fehler, den sie vorher gemacht hatte, die eine ging wieder schneller, die andere langsamer, sie differirten um $1\frac{1}{2}$ Minute.

Es ist begreiflich, daß so aufmerksame Naturforscher wie Savart, Beudant, Pouillet, diese Beobachtungen Ellicot's nicht unbeachtet ließen, sondern die Versuche aufnahmen und weiter führten, da hat sich denn ergeben, daß zwei Pendel, welche an derselben Querstange hängen, schon einen solchen Einfluß auf einander haben, daß ein bewegter Pendel den ruhenden in Schwingung setzt, auch wenn kein Uhrwerk mit im Spiele, welches die Bewegung dauernd macht. Hat man sie beide gleichzeitig, aber im entgegengesetzten Sinne gleich weit vom Ruhepunkte erhoben und losgelassen, so steigern sie einander abwechselnd und verringern abwechselnd ihre Bewegung, so daß bald der eine, bald der andere die größeren Schwingungen macht, und was bemerkenswerth ist, diese größeren Schwingungen weiter werden als die ursprünglich weitesten, welche man die Pendel machen ließ, so daß hieraus deutlich eine Uebertragung der Kraft des einen auf den andern und umgekehrt hervorgeht.

Spannt man zwei gleiche Saiten auf einen Contrabaß und giebt man ihnen gleiche Stimmung, so kann man diese Uebertragung der Schwingungen hin und zurück sehr unzweifelhaft beobachten. Die erst angeschlagene Saite bringt sehr bald die andere zum Mittönen und sobald dies geschieht, wird der Ton mächtig anschwellen, nun verliert sich die sichtbare Vibration der ersten, die zweite tönt beinahe allein und schwingt sehr stark, darauf verliert sich die Amplitude ihrer Schwingungen immer mehr, indeß die erste wieder zu vibriren anfängt; nun tritt unter lebhafter Anschwellung des Tones die gleich starke Schwingung beider ein, worauf die erste Saite wieder stärker schwingt, dann abnimmt, indeß die zweite stärker vibrirt und so verschiedene Male, bei nur einiger Aufmerksamkeit 10 bis 12 Mal hinter einander.

Breguet's sympathetische Uhren

Breguet hat diesen Einfluß schwingender Körper auf eine sehr sinnreiche Weise zu seinen genauesten Uhren, zu Chronometern zu benutzen gewußt.

In einem und demselben Gehäuse und auf einer Platte befestigt befinden sich zwei vollkommen gesonderte Uhren, jede mit einer besonderen Feder als Ausgangspunkt der Bewegung und mit einer besondern Unruhe als Schlußglied derselben. Eben so ist alles andere (Räder, Zeiger, Zifferblatt ꝛc.) doppelt und man kann eine Uhr aufziehen, ohne die andere gehen zu lassen, oder man kann die erste unaufgezogen lassen und die andere im Gange halten, wie man will; der Zweck aber ist, daß diese beiden Uhren, welche nichts gemeinschaftlich haben als den Raum, in dem sie gehen, doch trotz ihrer Gesondertheit Einfluß auf einander haben und sich gegenseitig ausgleichen sollen.

Jede dieser beiden Uhren ist sehr gut, jede derselben aber macht einen Fehler, wie es denn unmöglich ist, ein fehlerloses mechanisches Instrument zu verfertigen. Die Fehler aber compensiren sich bei diesen Uhren, so daß sie gut, richtig und vollkommen gleich gehen.

Man hat geglaubt (und vielleicht hat Breguet selbst diese Ansicht gehabt), daß die Schwingungen der Unruhen, welche ganz dicht bei einander stehen, so daß ihre Kreise nicht noch näher gebracht werden können, ohne sich zu berühren, vermöge der Luft auf einander ausgleichend wirkten und da die Luft ein Widerstand leistendes Mittel ist, die Unruhen aber Schwingungen machen in so großer Nähe der andern, so ist diese Ansicht gar nicht ohne Wahrscheinlichkeit. Biot aber hat nachgewiesen, daß die Luft hieran keinen Theil hat, indem diese Uhren, welche man wegen ihrer Uebereinstimmung sympathetische nennt, auch im luftleeren Raum vollkommen gleich gehen, wiewohl die Luft keineswegs ohne verzögernde Wirkung auf ihren Gang ist, indem sie im luftleeren Raum täglich um 20 Secunden schneller gingen als in ihrem gewöhnlichen Zustande.

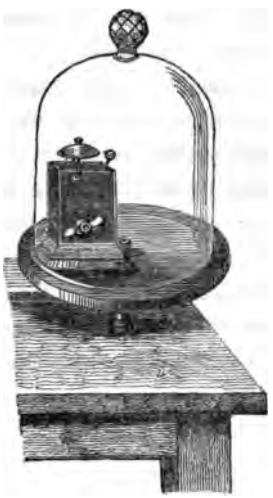
Die Thatsache ist sehr interessant, hat sich jedoch nie zur practischen Anwendung für den Seedienst erboben, man will nicht Uhren, welche ihre Fehler ausgleichen, dies ist nicht gewiß, nicht sicher genug, man will Uhren, welche einen bestimmten, sich stets gleich bleibenden Fehler machen, je kleiner je besser, aber doch eigentlich gleichgültig, wenn der Fehler sich nur nie verändert, nicht einmal größer, ein andermal kleiner wird. Eine solche Uhr gleicht sich zwar auch von selbst aus, allein sie ist für den astronomischen und den Seedienst ganz unbrauchbar, und so ist es auch mit Breguet's sympathetischen Uhren, welche nie zu Chronometern geworden sind, wie gut sie im Allgemeinen auch geben.

Schlechte Schallleiter.

So gut feste Körper die vibrirende Bewegung des Schalles wie jede andere immer wiederkehrende leiten, übertragen, so wenig leiten lockere und nicht homogene Körper dieselben. Wir haben bereits von der Beschaffenheit der Luft gesprochen, welche die Schallleitung hindert und haben sie in einer Mengung mit fremden Stoffen gefunden (mit Regentropfen, mit Schneeflocken); es giebt aber Körper, welche den Schall noch viel schlechter leiten als so beladene Luft. Wenn man z. B. ein Uhrwerk, das eine Glocke fortwährend in klingende Bewegung setzt, auf einen Haufen Kleie, Mehl oder Sägespähne setzt, mit einer Glasglocke überdeckt und diese nun ganz mit derselben Substanz beschüttet, so wird der Schall so vollkommen erstickt, daß man nichts mehr davon hört. Fest dürfen allerdings selbst diese Substanzen, Asche und dergleichen nicht gestampft werden, sonst beginnen sie wieder den Schall zu leiten.

Auch der luftleere Raum leitet den Schall nicht, wie sich eigentlich von selbst versteht, denn nichts kann auch nichts leisten, folglich auch nicht den Schall leiten. Doch wird auch jetzt noch besonders auf Gymnasien beim Unterrichte in der Physik sehr häufig ein Experiment gemacht, um zu beweisen, daß der Schall durch den luftleeren Raum nicht geleitet werde, aber dies Experiment mißlingt gewöhnlich, weil der Lehrer die Schallleitung durch feste Körper nicht berücksichtigt.

Fig. 72.



In Fig. 72 sieht man den Teller und die Glocke einer Luftpumpe. Unter der Glocke befindet sich ein Uhrwerk, welches aufgezogen ist und dessen Glöckchen durch den Hammer fortwährend tönt.

Steht dieses Uhrwerk nun auf dem Teller der Luftpumpe, so wird, und wenn die Luftpumpe noch so wirksam und die Luft bis auf ein Geringstes unter der Glocke weggenommen ist, das Tönen des Glöckleins doch gehört werden, und die Entschuldigungen über das Mißlingen des Experimentes sind mitunter drollig genug; wenn aber das Uhrwerk *nicht* auf dem Teller selbst, sondern auf einem locker gepolsterten Daunenkissen

oder auf einem Sack mit Kleie steht, so wird bei hinlänglicher Verdünnung der Luft kein Ton vernommen werden.

Hawksbee's Versuche.

Man hat gegen das Experiment überhaupt einige scharfsinnig scheinende, doch ganz ungerechtfertigte Einwendungen gemacht, welche ganz leicht beseitigt werden. Es sollte im luftleeren Raume gar kein Ton entstehen, folglich auch keiner fortgeleitet werden können. Dies ist allerdings wahr, aber auch unwahr; in einer Orgelpfeife kann im luftleeren Raum kein Ton entstehen, weil da nicht die Pfeife, sondern die in ihr eingeschlossene Luftsäule der klingende Körper ist, bei der Glocke von Metall oder Glas ist aber dieses Metall oder Glas der klingende Körper und wird er in geeigneter Weise angeschlagen, so wird auch der Ton entstehen, wie wir gerade daran sehen, daß das Experiment mit dem Uhrwerk im luftleeren Raum nicht gelingt, wenn das Uhrwerk auf dem Teller der Luftpumpe steht, denn hier ist die Luft nicht der schallgebende, sondern nur der schallleitende Körper und da feste Körper den Schall auch fortpflanzen, so hindert die Abwesenheit der Luft die Erzeugung des Tones keineswegs.

Um jedoch dem Einwande auch durch Versuche zu begegnen, hat Hawksbee die Sache folgendermaßen eingerichtet. Er stellte das Uhrwerk auf ein Kissen unter einer Glocke, in welcher die Luft belassen wurde, und überzeugte sich, daß man jetzt die Töne hörte, welche das gehende Uhrwerk gab. Nun ward dieser Apparat unter den Recipienten einer Luftpumpe gebracht und aus diesem die Luft gezogen. Es befand sich das Uhrwerk also im lufterfüllten Raum und war äußerlich von einem luftleeren Raum umgeben. Hier entstand der Klang wirklich, er drang aber nicht durch den luftleeren Raum, wie es denn auch nicht anders sein kann, da alle Bedingungen zur Fortpflanzung des Schalles fehlen.

Eins nur begreift der Verfasser nicht an diesem sehr geistreich ausgedachten Versuche und darum hält er ihn für einen ausgedachten, nicht ausgeführten Versuch.

Wenn man unter der äußersten Glocke die Luft herauszog, so fehlte der inneren der Widerstand gegen den Druck von innen, woselbst die Luft in ihrer vollständigen Spannung auf das Glas wirkte, ohne daß die Eigenschaften des Gewölbes ihr (der Glasmasse) zu Hülfe kamen. Von außen nach innen gedrückt, widersteht auch eine sehr dünne Glocke dem Drucke der Luft; von innen nach außen gedrückt, werden ihre Theile sehr bald getrennt sein. Es wäre denn, Hawksbee hätte einen so schwerfälligen Apparat

angewendet, wie man ihn zu Verſuchen über die Compreſſion der Luft anzuwenden pflegt und dieſen nun unter den Recipienten der Entleerungspumpe gebracht.

Reſonanz.

Das Mittönen anderer Körper beruht auf den mitgetheilten Schwingungen, welche von dem tönenden Körper ausgehen.

Gewöhnlich findet eine feſte Verbindung zwiſchen dem klingenden und dem reſonirenden Körper ſtatt, die Saite ruht auf einem Stege und dieſer ſteht auf dem Reſonanzboden feſt, allein es iſt dies keineswegs eine Bedingung, wie man an der Glasharmonika ſieht, welche jetzt als Spielerei für 10 Silbergroſchen auf jedem Jahrmarkt zu haben iſt.

Dieſes Inſtrument (nicht zu verwechſeln mit dem Franklin'ſchen) beſteht aus abgeſtimmten Klangſtäben von Glas, welche mit einem Klöppel aus elaſtiſchem Gummi oder aus Kork angeſchlagen werden; ſie ſchweben in einem leichten Käſtchen an zwei Schnüren und haben ganz die Anordnung der Strohfiddel, geben aber wundervolle Glockentöne. Das Inſtrument iſt oben ganz offen und der liebliche Klang mäßig ſtark, wenn man aber zwei ſchmale dünne Brettchen von Tannenholz über die ganze Länge des Kaſtens deckt, ſo daß nur die Mittellinie zwei Finger breit frei bleibt, damit die Glasſtäbchen angeſchlagen werden können, ſo glaubt man ein ganz anderes Inſtrument zu hören. Es ſcheint, als ob der Erfolg dieſer Bedeckung eine Schwächung des Tones ſein müßte, ſtatt deſſen wird derſelbe ſo bedeutend verſtärkt, daß man zweifelhaft iſt, ob es noch daſſelbe Werkzeug ſei, bis man ſich durch Hinwegnahme der Brettchen davon überzeugt, daß es ſelbſt keine Veränderung erlitten und daß es nur die Verſtärkung durch das Mittönen des Holzes war. Nicht daß dieſes ſelbſt einen ſo lieblichen Klang gäbe, allein es verſtärkt die Vibration der Luft, welche durch die Glasſtäbe, durch die Saiten erregt ſind, indem es ſelbſt mitzittert und größere Maſſen der Luft in Mitſchwingung ſetzt und daß dieſe Luft mittönt, davon haben wir S. 55 ein ſehr einleuchtendes Beiſpiel gegeben; und daß wieder ein Körper den andern in Schwingung verſetzt, dies hat Savart auf eine ſehr ingeniöſe Weiſe gezeigt.

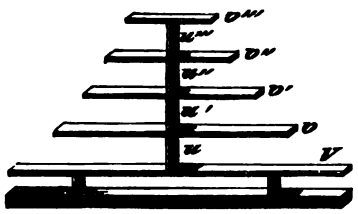
Wir hätten anführen können, daß man einen 80 Fuß langen Balken dadurch vibriren machen kann, daß man einen eiſernen Ladeſtock in das eine Ende deſſelben einſchraubt und dieſen auf die gewöhnliche Weiſe durch *Reibung* mit einem naſſen Lappen, der mit Colophon beſtreut iſt, in Longi-

tudinalschwingungen setzt, allein wir würden alsdann nicht haben auf die Töne zurückgehen können und dies ist Savart gelungen.

Savart's Resonanzversuche.

Fig. 73 zeigt den hierzu bestimmten Apparat. V ist ein Lineal von Metall oder Glas mit mattgeschliffener Kante, so daß man mittelst eines Bogens daran Töne erregen kann. Dieser Körper ist durch zwei Stützen in ein Viertel der Entfernung von den Enden unterstützt, vier andere immer kürzer werdende Lineale $v\ v'\ v''\ v'''$ stehen, nur einmal unterstützt in ihrer Mitte durch die Klötzchen $u\ u'\ u''\ u'''$ auf der Mitte des unteren Stabes. Man sieht hieran, daß die Schwingungsknoten vorzugsweise die unterstützten sind, sowohl bei V als bei den übrigen, V schwingt daher in vier Abtheilungen, jedes andere Lineal in zwei.

Fig. 73.



Die Befestigungsart ist gleichgültig, Savart bewerkstelligt sie durch Aufkleben mit einem schnell trocknenden Kitt, Gummilack wäre vielleicht das bessere; unsere Mechaniker nehmen statt der Stückchen $u\ u'''$ eine zusammenhängende Metallstange, in deren Einschnitte die Lineale geschoben werden.

Wenn man nun an dem Ende V die längste Schiene durch einen Bogen in Transversalschwingungen versetzt, so machen die Verbindungsstücke u bis u''' Längenschwingungen, diese übertragen sie an die Lineale $v\ v'\ v'\ v'''$, allein nicht als Längen-, sondern als Querschwingungen.

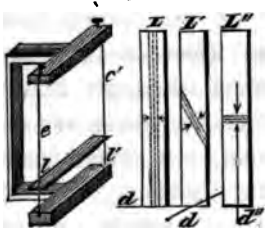
Wird im Gegentheil die Schiene V in Longitudinalschwingungen versetzt, so machen die Stücke u bis u''' Querschwingungen und also die Lineale v bis v''' wieder Längenschwingungen, kurz das ganze zusammengesetzte System von Stangen und Verbindungsstücken schwingt in ganz gleichem Sinne, denn man sieht wohl, daß diejenige Bewegung, welche V erhält, wenn es nach u und von u nach V schwingt und welche eine Längenschwingung ist, für das Mittelstück u eine Querschwingung sein müsse, und daß diese, genau so wie sie empfangen ist, nach v übertragen, dieses Lineal wieder in Längenschwingungen versetzen müsse.

Was hier gesagt worden und was allenfalls einleuchtet, ist doch vollständig durch Experimente bewiesen worden, indem man sowohl auf die Lineale als nachher auf die flach gehaltenen Zwischenglieder u bis u''' Sand streute und die Figuren beobachtete, da sich dann immer zeigte, daß, wenn

v bis v''' Longitudinalschwingungen anzeigte, die Figuren auf u bis u''' von Transversalschwingungen herrührten.

Auf eine ganz ähnliche Weise werden die Schwingungen auch von Saiten auf feste Körper übertragen, wozu der Fig. 74 gezeichnete Apparat dient.

Fig. 74.



Wir sehen hier ein Gestell, wo ein Lineal $l\,l'$ zwischen zwei Saiten c und c' eingespannt ist. Wenn man mit einem Bogen die Saite streicht, so vibrirt und tönt das Lineal mit und zwar sind seine Schwingungen transversal oder longitudinal, je nach der Richtung des Bogens. Die daneben gezeichneten Figuren zeigen dieses sehr deutlich.

L ist eine Transversalfigur, durch den aufgestreuten Sand hervorgebracht, dabei hat der Bogen die Saite c so gestrichen, wie der an dem Lineal befindliche Strich d zeigt. Bei L' sieht man eine schräg laufende Linie in der Mitte und d' zeigt an, in welcher Weise der Bogen auf die Saite gewirkt hat. Endlich zeigt L'' durch die Querlinie in der Mitte an, daß die Schwingungen longitudinal waren und so mußten sie auch sein, da der Boge nbie Saite in der Richtung d'' traf. Die kleinen Pfeile in der Mitte dieser drei Zeichnungen geben die Richtung der Schwingungen an.

Man sollte dem Gesetze der Schwingungen nach muthmaßen, daß eine Uebereinstimmung in den Schwingungszahlen nicht möglich sei, da die Länge der Körper in dem Fig. 73 dargestellten Instrument so verschieden, doch ist diese Uebereinstimmung thatsächlich, die kleineren Lineale vermindern, die größeren beschleunigen ihre Schwingungen, so daß alle zusammen wie ein Körper schwingen.

Wir haben ein sehr gutes Beispiel an dem Pendel. Derselbe schwingt, wenn er etwa 3 Fuß lang ist, in einer Secunde einmal hin und macht in der andern Secunde den Rückweg. Ein Pendel von dem vierten Theile der Länge schwingt in ½ Secunde und ein Pendel von $^1/_{16}$ der Länge des Secundenpendels schwingt in ¼ Secunde.

Nun aber ist ein Perpendikel immer eine Stange, jeder Theil derselben schwingt. Es sind viele Theile da, in der ½, ¼, ⅛, $^1/_{16}$ Länge von dem Aufhängungspunkte, aber alle schwingen in gleicher Zeit, die längeren, langsamen werden durch das Bestreben der kürzeren beschleunigt, die kürzeren werden durch den langsameren Gang der längeren zurückgehalten, und so entsteht eine mittlere Schwingung, aus der Summe aller Schwingungsgeschwindigkeiten dividirt, durch die Zahl derselben.

Töne und Tonverhältniſſe.

Haben wir uns bis jetzt mit den Vibrationen klingender Körper und mit der Fortpflanzung derſelben beſchäftigt, ſo wird nur noch übrig bleiben, von den Tönen ſelbſt zu ſprechen, welche über alle Begriffe verſchieden von einander ſind.

Von dieſer Verſchiedenheit, wie groß ſie auch iſt, können wir nun weder pſychologiſch, noch phyſiſch, noch mathematiſch Rechenſchaft ablegen, die Stärke und Schwäche des Tones iſt von ſeiner Höhe und Tiefe ganz unabhängig, beide haben wieder nichts gemein mit den gänzlich verſchiedenen Klängen verſchiedener Inſtrumente (Violine, Flöte, Horn, Clarinett, Trompete, Clavier, Harfe, Glockenklang, menſchliche Stimme), ja die Behandlungsweiſe eines und deſſelben Inſtrumentes macht denſelben Ton verſchieden, ein e durch den Strich des Geigenbogens oder durch Anſchlag des Fingers hervorgebracht, eine Glasglocke mit dem Klöppel geſchlagen, mit dem Bogen geſtrichen, mit dem naſſen Finger gerieben, bedingt Unterſchiede in demſelben Ton, welche wir wohl fühlen, aber weder begreifen, noch erklären können.

Das Verhältniß des Tones zu den andern hängt von der Zahl der Schwingungen ab, ſein Klang aber gar nicht, ſondern von der Art, ihn zu erwecken; der Ton, der geſtrichen durch den Bogen 4000 Schwingungen in der Secunde macht, derſelbe Ton giebt mit dem Finger angeſchlagen (piccicato) nicht eine Schwingung weniger, und doch wie verſchieden iſt er von jenem; ja derſelbe Ton von einem Mann und von einer Frau geſungen, von einem Meiſter und von einem Stümper angegeben, iſt doch ſo verſchieden, daß der eine uns entzückt, der andere uns Ohrenſchmerzen macht.

Jeder Buchſtabe hat ſeinen eigenen Schall, den man weder Ton noch Klang nennen kann, unſer Ohr unterſcheidet auch ſehr wohl die Vocale von einander und die Conſonanten unter ſich und von den Vocalen, ohne Rückſicht auf Höhe oder auf Stärke oder auf das Organ, welches ſie hervorbringt.

Urſachen der Klangverſchiedenheiten unbekannt.

Worin dieſe mannigfaltigen Unterſchiede beſtehen, ſagt der geiſtreiche Schubert (der in Petersburg verſtorbene Phyſiker und Aſtronom), wodurch ſie hervorgebracht werden und wie die Seele ſie empfindet, davon wiſſen wir nichts, aber deſto mehr müſſen wir die Natur bewundern, die durch *Mittel, welche unſeren* ſorgfältigſten Unterſuchungen verborgen bleiben, ſolche

erstaunliche Wirkungen hervorbringt, wie z. B. wenn wir in demselben Augenblicke alle die Töne eines großen Orchesters hören, die Schönheiten der Composition fühlen, jeden falschen Ton oder Tact oder sonstigen Fehler bemerken, die Worte des Gesanges und ihren Sinn verstehen, das Organ eines bekannten Sängers erkennen u. s. w.

Bleiben wir allein bei diesem letzteren stehen; wie höchst merkwürdig ist die Verschiedenheit der Organe. Wenn bei einem Freudenfeste oder einem Zweckessen 200 Personen beisammen sind, von denen fünfzehn oder zwanzig verschiedene Toaste ausbringen, so erkennen wir, auch wenn wir den Redner nicht sehen, einen Jeden an seiner Stimme, oder wir fühlen sofort, es schlägt ein unbekanntes Organ an unser Ohr, wir sehen uns um, wir richten uns auf, um den Sprecher zu sehen und wir finden, es ist ein uns so unbekanntes Gesicht wie das Organ unbekannt war.

Worin liegt diese Verschiedenheit, da Zunge, Zähne, Gaumen, Rachenhöhle, Kehlkopf, Luftröhre, Lunge alle so gleich gebildet sind, daß der Anatom vergeblich nach dem Grunde so vieler Verschiedenheiten sucht, denn es giebt auf Erden nicht zwei Menschen, welche ein vollkommen gleiches Organ besitzen.

Da macht trotz der Gleichheit der Bildung sich Verschiedenheit der Verhältnisse der einzelnen Theile zu einander, größere oder geringere Elasticität, Spannung der Bibern, der Muskeln, der Knorpel, Ausgiebigkeit oder Trockenheit der Schleimhäute, Stellung der Zähne, Weite des Mundes, der Brusthöhle doch so sehr geltend, daß die geringsten Veränderungen in dem Bau dieser Organe sogleich in der Wirkungsart derselben erkannt werden.

Es ist damit wie mit dem menschlichen Angesicht, welches auch aus einer ganz gleich bleibenden Anzahl von Stücken in ganz gleicher Stellung zu einander besteht, durch welche Stücke bei einer Verschiedenheit, die nirgends ½ Zoll übersteigt, doch eine so unendliche Mannigfaltigkeit erreicht wird, daß selbst Zwillinge, welche immerfort selbst von Freunden und Bekannten mit einander verwechselt werden, nur neben einander gestellt werden dürfen, um Verschiedenheiten zur Genüge zu zeigen.

Auf diesem Felde ist die Grenze unseres Wissens bald erreicht, besser sind wir wenigstens hinsichtlich der Höhe und Tiefe der Töne gestellt. Dieser Unterschied hängt, wie bereits bemerkt, von der Geschwindigkeit ab, womit der schallende Körper seine Schwingungen macht, und der Ton ist desto höher, je schneller und desto tiefer, je langsamer der Körper schwingt. Hieraus folgt nun sogleich, daß der Körper, um einen Ton anzugeben, gleichförmig schwingen müsse, d. h. daß jeder Ton, so lange er anhält, in *jeder* Secunde eine gleiche Anzahl von Schwingungen machen müsse.

Geräusch.

Dies ist es auch, wodurch der Ton oder Klang sich von dem bloßen Geräusch unterscheidet, dessen Schwingungen nicht einen Augenblick gleichförmig bleiben, sondern immerfort bald langsamer, bald schneller werden.

Schall nennen wir Alles, was hörbar ist, wir theilen den Schall ein in Klang, wenn das Ohr die Geschwindigkeit der Schwingungen deutlich vernimmt, und in Geräusch, wenn dies nicht der Fall ist. Der Klang besteht entweder aus einer einzelnen Reihe von gleichförmigen Schwingungen, welche ein Ton heißt, oder aus mehreren solchen Reihen, die deutlich von einander zu unterscheiden sind und entweder eine Melodie oder einen Accord oder eine Dissonanz geben, je nachdem die Geschwindigkeiten der Schwingungen jeder Reihe ein einfaches oder ein zusammengesetztes Verhältniß gegen einander haben. Töne, die in einem hohen Grade dissoniren, geben einen unreinen Klang. Der Knall ist ein heftiger, schnell vorübergehender Schall.

Aber auch hier sind die Grenzen durchaus nicht scharf gezogen und man kann in dem Geräusch selbst noch den Ton unterscheiden, falls man aufmerksam ist oder vergleicht.

Wenn ein gut schließendes Penal plötzlich durch Aufziehen zum Schallen gebracht wird, so erkennt man nicht leicht einen Ton, wenn man aber drei oder vier von verschiedener Größe schnell hinter einander aufzieht, so wird die Verschiedenheit der Töne sehr deutlich hervorspringen, und wenn man einige Auswahl hat, so wird es sehr leicht sein, einen vollständigen Accord anzugeben.

Der Knall einer Peitsche, einer Champagnerflasche, von welcher der Kork hinwegfliegt, das Schnippchenschlagen mit den Fingern, sind solche Aeußerungen erschütterter Luft, die Niemand Ton nennen wird, allein sobald man mit drei Fingern hinter einander schnippt, drei oder vier verschiedene Peitschen oder Bouteillen knallen läßt, tritt der Unterschied dieser Schalle und damit der Begriff Ton ein.

Umgekehrt kann man aus vielen verschiedenen Tönen ein Geräusch zusammensetzen, woraus der größte Analytiker nicht die einzelnen Töne ziehen wird. Wenn man 12 Weingläser neben einander auf einen Tisch stellt und eins nach dem andern mit dem hölzernen Heft eines Messers anschlägt, so wird jedes einen deutlichen, von dem andern unterscheidbaren Ton angeben. Wenn man den Tisch neigt, so daß sie alle zur Erde fallen, hört man wohl Geräusch, aber nicht Ton oder Töne. Das Experiment ist ein wenig

theuer, es koſtet doch allemal einen Thaler, allein man kann es auch wohlfeiler machen, nur koſtet es dann mehr Mühe.

Wenn man ſich die hölzernen Klangſtäbe zu einer Strohfiddel abſtimmt und auf zwei Schnüre reiht, ſo giebt jedes einzelne Stäbchen einen Ton, einer nach dem andern angeſchlagen eine Tonleiter, das ganze Inſtrument an den Fußboden, auf Holz- oder Steinplatten geworfen, giebt Lärm; alſo entſteht dieſer aus dem verwirrten Durcheinanderklingen vieler verſchiedener Töne. So iſt es vielleicht mit allem Lärm, mit dem Brauſen des Meeres, mit dem Sauſen und Pfeifen des Windes in den Zweigen der Bäume, mit dem Toſen eines Waſſerfalles, dem Ziſchen des Dampfſtrahles.

Auseinanderlegen der Töne.

Savart glaubt in dem Reflex des Schalles ein Mittel gefunden zu haben, die Töne, aus denen er beſteht, zu unterſcheiden, indem er ſie von einander ſondert. Es bedarf dazu nur einer Mauer, von der man ſich nach und nach bis auf etwa 10 Fuß entfernt (natürlich nicht in einem Zimmer, weil da vier Mauern ſind, ſondern im Freien, auch muß man dergleichen Verſuche bei möglichſter Stille, alſo eigentlich bei Nacht machen); die hohen Töne walten vor in der Nähe der Mauer, die tiefen und tieferen in immer größeren Entfernungen. Selbſt das Knittern eines Bogens Papier läßt ſich auf ſolche Weiſe in verſchiedene Töne trennen. Die großartigſten Verſuche hat Savart am Meeresufer gemacht, wo er das Geräuſch aus verſchiedenen Entfernungen von einer reflectirenden Wand beobachtete. Es waren ſehr deutlich wahrnehmbare Verſchiedenheiten nicht zu verkennen, vor Allem aber war die ungeheure Gewalt, die Mächtigkeit dieſer einzelnen Töne merkwürdig, welche durch ihren ſonoren Klang das Gehör viel gewaltiger erſchütterten als das Brauſen des Meeres in ſeiner Geſammtheit.

Dieſes Auseinanderlegen der verſchiedenen Töne durch mehr oder mindere Entfernung von einem den Schall reflectirenden Körper könnte auf den Gedanken bringen, als durchliefen verſchiedene Töne verſchiedene Entfernungen in derſelben Zeit, dies iſt jedoch, wie wir aus einer früheren Andeutung wiſſen, durchaus nicht der Fall, die höchſten Töne verbreiten ſich trotz ihrer außerordentlich ſchnellen Schwingungen doch nicht im mindeſten raſcher als die tiefſten. So auffallend dies auch ſein mag, ſo hat es doch ſeinen guten und natürlichen Grund. Die raſche und lebhafte Aufeinanderfolge von Vibrationen, welche die höchſten Töne geben, ſind außerordentlich kurz, es iſt ſelbſt beim elektriſchen Lichte nicht möglich, das höchſte E eines Claviers im Anſchlage ſchwingend, tongebend, gekrümmt zu ſehen, während

schon die Mitteltöne sichtbar vibriren und die Baßtöne eines Flügels nicht bloß sichtbare, sondern sehr fühlbare Schwingungen von ¼ Zoll Weite („Excursionen von ¼ Zoll Amplitude" ist der Kunstausdruck) machen.

Es wirken daher durch ihre breiten Schwingungen die tiefen Töne eben so gut auf die den Schall fortpflanzende Luft als die hohen Töne durch die Menge derselben. Was die Entfernung betrifft, bis zu welcher verschiedene Töne gehört werden, so ist dies etwas anderes. Wenn das tiefste C der Orgel schwingt, so entstehen 32 Schwingungen in der Secunde; hält dieses Tönen 5 Secunden an, so wird die Luft in dieser Zeit 80 Mal zusammengedrückt und eben so oft verdünnt werden, hält dagegen das acht Octaven höhere C so lange an, so wird die Luft nahezu 41,000 Schwingungen machen, genauer wird sie 20,480 Mal zusammengedrückt und 20,480 Mal ausgedehnt werden.

Daß diese 41,000 Vibrationen weiter gehört werden als jene 160 der tiefen Orgelpfeife, ist sehr begreiflich, die kleinen Stöße werden unendlich oft wiederholt; darum hört mitten im wildesten Sturm, wenn die Masten der Schiffe krachen, die Segel zerreißen, der Matrose die Stimme seines Commandeurs nicht, auch durch das Sprachrohr nicht, wohl aber die Pfeife des Bootsmannes. Dieser schrillende Ton dringt durch das furchtbare Geräusch der am Schiffe zerschellenden Wogen und der das Tauwerk durchsausenden Stürme, allein wenn der schneidende Pfiff die Luft weiter durchdringt, so durcheilt er sie doch nicht schneller, und hört man die Orgelpfeife auch nicht auf 3000 Schritt wie den schrillenden Pfiff des Jägers, der seinen Hund ruft, so hört man beide doch auf 1000 Schritt binnen zwei Secunden und nicht den einen Ton früher und den andern später.

Töne und Farben.

Etwas ganz Aehnliches findet, wie wir wissen, bei dem Lichte statt. Wir wollen nicht davon sprechen, daß zwei der größten Mathematiker, Newton und Euler, obgleich sie ganz entgegengesetzte Hypothesen über die Natur des Lichtes hatten, doch beide eine große Aehnlichkeit zwischen den Farben und den Tönen fanden, denn dieses ist ein bloßes Gedankenspiel, was sich der ernsten Forschung gegenüber nicht einen Augenblick halten läßt, denn die ganze Aehnlichkeit reducirt sich auf die Annahme von sieben Farben gegenüber den sieben Tönen der Scala; allein es giebt erstens nicht sieben Farben, sondern nur sechs, denn Newton's Annahme von hellblau und dunkelblau ist ganz willkürlich, er hätte eben so gut hellroth und dunkelroth oder hellviolett und dunkelviolett annehmen dürfen; zweitens giebt es auch

nicht einmal sechs Farben, sondern nur drei: gelb, roth und blau, die andern sind Mischungsfarben aus je zweien dieser drei Farben und eben so wie man grün eine Farbe des Lichtes nennt, könnte man auch eine Terz oder Quinte einen Ton nennen; drittens hat man nicht sieben Töne, sondern eine sehr große Anzahl von Tönen in verschiedenen Octaven, Niemand kann aber die Octave von dem Roth des Regenbogens oder dem prächtigen Blau eines Flintglasprismas angeben; allein eine andere wenig beachtete Aehnlichkeit liegt in der Verbreitung des Lichtes und der Töne, in der Fortpflanzung derselben, so wie auch der Wärme durch Vibrationen und darin, daß sich die verschiedenen Töne so wie die verschiedenen Farben durch gleiche Räume in gleicher Zeit fortpflanzen, daß der blaue wie der rothe und gelbe Lichtstrahl ihren Weg so in gleicher Zeit zurücklegen, wie die hohen und niederen Töne, daß aber ferner die Schwingungsgeschwindigkeit der Töne so verschieden ist, wie die Schwingungsgeschwindigkeit der Farben und der Wärmequalitäten.

Die Wellenart aber ist verschieden und diese Verschiedenheit bedingt auch die Möglichkeit oder Unmöglichkeit der Polarisation; der Schall kann nicht polarisirt werden und seine Wellen unterscheiden sich dadurch wieder auf das Entschiedenste von den Wellen des Lichtes. Man kann die verschiedenen Licht- und Wärmearten durch Polarisation trennen wie durch ein Sieb, und die so getrennten, die einmal durch den Polarisationsapparat gegangen sind, gehen fort und fort wieder hindurch und die auf dem Siebe zurückgeblieben, bleiben wie zu grobe Schrotkörner immer zurück; nicht so mit dem Schall, es giebt kein Mittel, denselben so zu theilen, daß eine Portion sich ferner nur vor einer schrägen Fläche reflectiren lasse, indeß die andere durch diese nämliche Fläche, welche jenen Antheil Schall zurückgeworfen hat, hindurchgehe. Es giebt kein Mittel, den Schall so zu trennen, daß eine seiner Hälften andere Eigenschaften bekäme als die andere.

Ein ähnlicher Unterschied, wie zwischen diesen beiden Gruppen von Kräften oder Thätigkeiten, nämlich Wärme und Licht einerseits und Schall andererseits (denn Schall ist so wenig ein Körper wie das Licht oder die Wärme, sondern er ist der Anschlag eines bewegten Mittels an das Ohr, wie das Licht der Anschlag eines solchen bewegten Mediums an das Auge ist), ein ähnlicher Unterschied findet auch statt zwischen diesen dreien und der Elektricität und dem Magnetismus.

Wenn nämlich die eine Abtheilung der ersten Gruppe von der andern Abtheilung sich durch die Polarisation unterscheidet, so unterscheidet sich die erste Gruppe selbst von der hier zuletzt genannten durch Strahlung.

Licht, Wärme und Schall verbreiten ſich ſtrahlenförmig, ſie können zurückgeworfen und gebrochen werden.

Elektricität und Magnetismus verbreiten ſich auch rund um ihren Entſtehungspunkt gleichmäßig, keine Seite hat vor der andern den Vorzug, von wo man eine Nadel dem freundlichen Pole eines Magneten nähert, wird ſie angezogen werden, allein ſtrahlenförmig iſt dieſe Verbreitung nicht. Es läßt ſich leicht die Probe auf dies Exempel machen: wer kann einen Spiegel zeigen, durch welchen die Elektricität reflectirt würde, wer ein Prisma, durch welches der Magnetismus gebrochen, wer eine Linſe, durch welche ſeine Strahlen in einem Focus vereinigt würden? Dies ſind charakteriſtiſche Merkmale einer ſtrahlenförmigen Verbreitung; wo dieſe Merkmale fehlen, dürfen wir dreiſt die Strahlenförmigkeit der Verbreitung läugnen.

Geſetze der Töne und Tonfolge.

Wir haben bisher von phyſikaliſchen Eigenſchaften des Schalles geſprochen, wir ſind jetzt nothgedrungen, zu den mathematiſchen Eigenſchaften und Geſetzen der Töne überzugehen, bitten aber unſere geehrten Leſer, auch die Damen unter denſelben, nicht gar zu große Beſorgniß zu hegen, wir hoffen auch dieſen Gegenſtand mit einem Jedermann geläufigen Antheil Mathematik abzuthun.

Geſchwindere Schwingungen geben einen höheren Ton. Die ganze Tonkunſt beruht auf einer Verbindung abwechſelnd höherer und tieferer Töne, alſo ſchließlich auf den mathematiſchen Verhältniſſen zwiſchen ſchnellen und langſamen Schwingungen tönegebender Körper.

Um ſich von dieſem bewundernswürdigen Naturgeſetz einen deutlichen Begriff zu machen, muß man den Zuſammenhang genau kennen, der zwiſchen dieſen heterogenen Dingen ſtattfindet, man muß z. B. wiſſen, ob die Quinte in der Muſik zwei-, drei- oder viermal mehr Schwingungen macht als der Ton, deſſen Quinte ſie iſt. Es findet hierbei etwas Aehnliches ſtatt wie bei der Wärme. Das Gefühl der Wärme iſt unbeſtimmt und trügeriſch, aber die Wirkung der Wärme, alle Körper auszudehnen, welche durch das Queckſilber im Thermometer angedeutet wird, läßt ſich mathematiſch meſſen und berechnen. Wir beſtimmen daher die Temperatur der Luft durch die Grade des Thermometers, obgleich beide ganz heterogene Dinge ſind.

Eben ſo iſt die Empfindung des Ohres von der Höhe der Töne zu geiſtig und zu transcendent, um gemeſſen zu werden,*) aber die damit ver-

*) *Schubert über den Schall.*

bundene Geschwindigkeit der Schwingungen ist ein Gegenstand für die Mathematik und giebt uns daher ein genaues Maß für die Höhe der Töne. Wir werden z. B. einen Ton zwei oder dreimal so hoch nennen als einen andern Ton, wenn er zwei- oder dreimal so viel Schwingungen in der Secunde macht als der andere.

Aber ohne diese Erklärung würde es schwer sein, in bloß musikalischer Hinsicht einen deutlichen Begriff damit zu verbinden, daß die Octave zweimal, die Quinte anderhalbmal so hoch ist als der Grundton.

Schwingungsgeschwindigkeit.

Die obige Frage läßt sich also richtiger so stellen: „was ist es für ein Ton in der Musik, der zweimal so viel Schwingungen macht als ein gegebener Ton, und daher zweimal so hoch genannt werden muß?", oder vielmehr: „wie heißt das musikalische Intervall zwischen diesen beiden Tönen, ist es die Tertie, die Quinte oder Octave?"

Die Beantwortung dieser Frage, welche die ganze mathematische Theorie der Musik ausmacht, giebt die Bestimmung des Verhältnisses der Geschwindigkeiten der Schwingungen für jedes musikalische Intervall und diese Verhältnisse lassen sich am besten durch das Monochord erläutern, welches wir S. 26 bereits kennen gelernt haben.

Um aber aus den Versuchen mit dem Monochord, die Jeder anstellen kann, der ein musikalisches Gehör hat, richtige Schlüsse zu ziehen, muß man (da es unmöglich ist, die Schwingungen unmittelbar zu zählen, wenn man nicht Scheibler's Methode oder die Savart'sche durch die Radsirene anwendet) das Gesetz kennen, nach welchem die Anzahl der Schwingungen von der Länge der Saite abhängt, die mit dem Bogen gestrichen oder mit dem Finger angeschlagen wird. Jeder Clavierstimmer und jeder Instrumentenmacher weiß, daß der Ton einer Saite desto höher ist, je stärker sie gespannt, je dünner sie dabei und je kürzer sie ist, allein beide benutzen diese Kenntniß ohne Kenntniß der Gesetze lediglich practisch, auf die sich ihnen aufdrängende Erfahrung oder auf die Ueberlieferung von Lehrer und Lehrherr gestützt, zu ihren Arbeiten, ihnen ist selten das eigentliche Naturgesetz bekannt.

Dieses Gesetz aber ist streng mathematisch bewiesen und besteht in Folgendem:

1) Die Zahl der Schwingungen zweier Saiten verhält sich umgekehrt wie ihre Länge.
2) Die Zahl der Schwingungen zweier Saiten verhält sich umgekehrt wie ihre Durchmesser.

3) Die Zahl der Schwingungen zweier Saiten iſt proportional der Quadratzahl der Gewichte, welche ſie ſpannt.

4) Endlich verhält ſie ſich umgekehrt, wie die Quadratwurzel ihrer Dichtigkeit.

Es ſind dieſe Angaben durch Experimente bewieſen und ſie können ſehr leicht nachgemacht werden.

Das erſte Geſetz betreffend, ſo unterſtützt man eine Saite des Monochords durch einen Steg in der Mitte, dadurch iſt die Saite halb ſo lang geworden, ihre Schwingungszahl iſt alſo umgekehrt wie $\frac{1}{2}$ Mal ſo groß, d. h. $\frac{2}{1}$ Mal, was man einfach ſo ausdrückt, ſie iſt verdoppelt. Unterſtützt man die Saite bei $\frac{2}{3}$ ihrer ganzen Länge, ſo ſchwingt ſie $\frac{3}{2}$ Mal ſo viel als bei der ganzen Länge, d. h. 1½ Mal ſo viel, ſie giebt die Quinte an u. ſ. f.

Meſſungen am Monochord.

Um das folgende Geſetz zu beweiſen, ſpannt man auf ein Monochord zwei Saiten von verſchiedenem Durchmeſſer (von verſchiedener Dicke) durch gleiche Gewichte. Die gröbere wird einen tieferen Ton geben und zwar genau die Octave, wenn ſie genau einen doppelt ſo großen Durchmeſſer hat. Die doppelt ſo dicke Saite macht alſo halb ſo viele Schwingungen oder die halb ſo dicke Saite macht doppelt ſo viele Schwingnngen, d. h. die Anzahl der Schwingungen beider Saiten verhält ſich umgekehrt ſo wie die Durchmeſſer.

Die Spannung betreffend, ſo geben Saiten von gleicher Länge und gleicher Stärke jederzeit höhere Töne, je ſchwerer die Gewichte ſind, durch welche ſie geſpannt werden. Man wird zwar wahrnehmen, daß eine Saite, welche bei einer Belaſtung von 10 Pfund einen gewiſſen Ton giebt, die Octave dieſes Tones nicht bei der Verdoppelung, ſondern erſt bei der Vervierfältigung deſſelben Gewichtes giebt.

In allen Lehrbüchern ſteht dieſer Satz ohne alle Erläuterung, es bedarf derſelben aber um ſo mehr, als einem unbefangenen Leſer gar nicht einleuchten will, daß ſich 1 zu 4 verhält wie die Wurzel zum Quadrat, denn da findet überhaupt nie ein Verhältniß ſtatt, welches ſich allgemein durch zwei Zahlen ausdrücken ließe, die Wurzel von 4 verhält ſich zu ihrem Quadrat wie 1 : 2, die Wurzel von 16 dagegen wie 1 zu 4, die von 100 wie 1 : 10 u. ſ. w.

Allein wie es hier verſtanden iſt, ſo lautet das Geſetz auch gar nicht, es handelt ſich nicht um das Verhältniß von Wurzel zum Quadrat, dies

steigt mit der Größe der Wurzel ganz gleichen Schrittes, es handelt sich um das Verhältniß zweier Wurzeln. Die Zahl der Schwingungen der höher klingenden Saite verhält sich zu der Schwingungszahl der tieferen wie die Wurzel aus der Zahl, welche das Gewicht der schweren angiebt zu der Wurzel aus der Zahl, welche das Gewicht der leichter belasteten angiebt und da paßt das angegebene Gewichts- oder Spannungsverhältniß allerdings ganz genau.

Gesetzt es hinge an der einen Saite 1 Pfund und an der andern, welche die Octave giebt, also doppelt so viele Schwingungen macht, hängen 4 Pfund; die Quadratwurzel von 1 ist auch 1, denn 1 Mal 1 oder 1 multiplicirt mit sich selbst, also das Quadrat von 1 ist nichts anderes als 1, in diesem Falle ist die Wurzel gleich dem Quadrat. Die Wurzel von 4 ist aber 2, denn 2 Mal 2 ist 4; die Quadratwurzeln verhalten sich zu einander also wie 1 zu 2, dies ist aber gerade das Verhältniß des Grundtons zur Octave.

Wenn die eine von zwei gleichen Saiten mit 9 Pfund, die andere mit 36 belastet ist, so verhalten sich die Quadratwurzeln dieser Zahlen wie 3 zu 6, d. h. wie 1 zu 2.

Wenn die Gewichte 25 und 100 sind, so sind die Quadratwurzeln 5 und 10, also wieder ein Verhältniß wie 1 zu 2. Wenn die Gewichte 81 und 324 sind, so verhalten sich die Quadratwurzeln wie 9 zu 18, d. h. wie 3 zu 6 oder wie 1 zu 2. In allen diesen und in hundert andern Fällen sind die Gewichte in dem Verhältniß von 1 zu 4 und die Quadratwurzeln wie 1 zu 2, die dadurch hervorgebrachten Töne aber gleichfalls wie 1 zu 2, d. h. wie Grundton zu Octave.

Es war diese Auseinandersetzung nöthig, um das Mißverständniß zu lösen, welches dadurch leicht entstehen kann, daß man, das mathematische Gesetz mit der practischen Ausführung zusammenhaltend, glaubt, daß die Zahlen nicht gesetzmäßig seien; es war nöthig, um die Richtigkeit des Gesetzes darzuthun. Wir wenden uns nun zu dem vierten Punkt.

Stoffverschiedenheit.

Wenn man zwei Saiten von gleicher Länge, gleicher Dicke und gleicher Spannung, aber von verschiedenen Substanzen zum Tönen bringt, so verhalten sich die Schwingungszahlen wie die Quadratwurzeln aus der Dichtigkeit. Die Dichtigkeit einer Darmsaite verhält sich zur Dichtigkeit einer Messingsaite wie 1 zu 9. Die Quadratwurzeln hieraus sind 1 und 3, die *Schwingungs*anzahl der beiden Saiten steht in diesem Verhältniß, die Messing-

saite macht in derselben Zeit (auch alles Uebrige gleichgesetzt wie schon gesagt) dreimal so viel Schwingungen als die Darmsaite, doppelt so viel wäre die höhere Octave, noch um die Hälfte mehr ist die Quinte von dieser Octave.

Diese Gesetze und deren Erklärungen sind leicht zu behalten; wegen des Folgenden ist der Verfasser jedoch in einer gewissen Verlegenheit. Nicht weil die demnächst mitzutheilenden Gegenstände schwerer faßlich wären — nichts weniger als dies — wohl aber weil sie, da es sich um Zahlenverhältnisse handelt, passabel langweilig sind. Gesagt muß in einem Lehrbuch der Physik das Alles werden, was über die Verhältnisse der Töne zu einander hier vorkommt, es ist von so großer Wichtigkeit, daß Pythagoros, von dem man sagt, daß er diese Verhältnisse erfunden habe, vor Freuden gestorben sein soll. Nichts desto weniger wird es nur denjenigen besonders interessiren, der sich mit der Musik (nicht mit Clavierschlagen oder Guitarreklimpern, sondern mit Musik) beschäftigt. Wir können unsern geehrten Lesern nur überlassen, sich selbst zu klassificiren und also, wenn sie nichts von Musik verstehen oder lernen wollen, die nächsten Seiten zu überschlagen. Damit aber auch den andern Lesern die Sache nicht zu langweilig werde, wollen wir uns so kurz als möglich fassen.

Längenmaße der Töne. Intervalle.

Bei den Tonverhältnissen legt man um der Einfachheit willen alle Verschiedenheiten in Dicke der Saite, Substanz aus der sie besteht, und Spannung bei Seite, nimmt ein- für allemal eine Saite unter einer bestimmten Spannung, betrachtet bloß die Längen derselben und die Töne, welche aus den Veränderungen der Länge einer Saite hervorgehen.

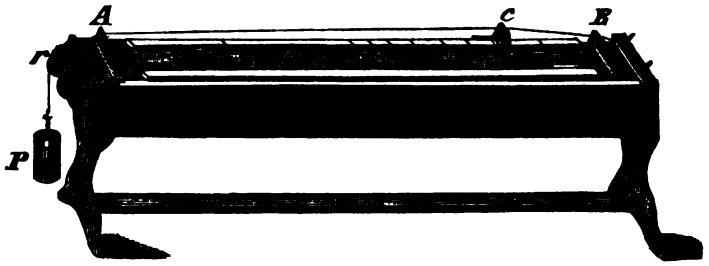
Die Versuche werden auf folgende Art angestellt: Man merke sich genau den Ton, den die ganze Saite des Monochords angiebt, ehe der bewegliche Steg untergesetzt wird, oder besser man stimme sie mit dem großen C auf einem gut gestimmten Clavier in Einklang, weil in dieser Tonart alle Intervallen rein sind.*) Mit Hülfe dieses Claviers wird man auch leicht die folgenden Versuche machen.

Man setze zuerst den Steg (Fig. 75, S. 144) nach dem eingetheilten Maßstabe des Monochords AB unter die Mitte der Saite, so daß sie in zwei gleiche Theile getheilt ist, wovon ich in der Folge den an der linken Seite durch M und den an der rechten durch N bezeichnen werde. In

*) Schubert a. a. O.

dieſem Falle werden *M* und *N* im Einklange ſein und die höhere Octave der ganzen Saite angeben, das kleine c.

Fig. 75.



Da nun eben bewieſen iſt, daß *M* und *N*, da ſie halb ſo lang als die ganzen Saiten ſind, zweimal ſo viele Schwingungen machen, ſo folgt hieraus, daß der zweimal ſo hohe Ton, der in jeder Secunde zweimal ſo viele Schwingungen macht, die reine Octave iſt, oder daß das Intervall, welches man in der Muſik Octave nennt, mathematiſch durch das Verhältniß der Schwingungen eins zu zwei ausgedrückt wird.

Schiebt man nun den Steg ſo weit links, daß *M* (der linke Theil) genau der dritte Theil der ganzen Saite iſt, *N* alſo $^2/_3$ enthält, ſo ergiebt ſich erſtens hieraus, daß die Theile ſich verhalten wie 1 zu 2, daß alſo der linke Theil die Octave von dem rechten Theile iſt, aber vergleicht man die beiden Töne mit dem Clavier, ſo wird man finden, daß nach der oben vorausgeſetzten Stimmung der rechte Theil *N* mit dem großen G des Claviers, der linke mit dem kleinen im Einklange iſt. Demnach hat *N* die Quinte des Tones der ganzen Saite oder des Urtones, *M* iſt die Octave dieſer Quinte oder die Duodecime des Urtones. Da nun *M* dreimal ſo viel Schwingungen macht als der Urton und zweimal ſo viel als *N*, ſo verhalten ſich die Schwingungen der Töne C und g wie 1 zu 3 und der Ton c zu G wie 2 zu 3. Das muſikaliſche Intervall, welches die Quinte heißt, wird alſo durch das Verhältniß der Schwingungen wie 2 zu 3 hervorgebracht. Wenn demnach C zwei Schwingungen macht, ſo macht die Quinte G drei und die Octave vier, mithin verhalten ſich die Schwingungen von G und c wie 3 zu 4. Da nun c die Quarte von G iſt, ſo entſteht das muſikaliſche Intervall der Quarte aus den Verhältniſſen der Schwingungen wie 3 zu 4. Hiervon kann man ſich auch überzeugen, wenn man den Steg noch weiter links ſchiebt, ſo daß *M* der vierte Theil der Saite iſt, mithin *N* $^3/_4$ hat. Man wird nämlich finden, daß *N* genau die Quarte *F des Urtones* der ganzen Saite iſt, und da man weiß, daß *N* $^4/_3$ ſo viel

Schwingungen macht als der Urton, so ist die Quarte das Verhältniß von 1 zu $^4/_3$, oder was gleich ist $^3/_3$ zu $^4/_3$ oder 3 zu 4.

Wir haben bisher gefunden, daß die Octave nichts anderes ist als das Verhältniß der Schwingungen 1 zu 2, die Quinte 2 : 3, die Quarte 3 : 4 und man wird aus dem Fortgange dieser Zahlen leicht den Schluß ziehen, daß das nächste Intervall sein müsse wie 4 : 5, dies ist das der großen Tertie.

Um sich von der Richtigkeit dieser Voraussetzung zu überzeugen, verschiebe man den Steg noch weiter links, bis *M* der fünfte Theil der ganzen Saite, *N* folglich $^4/_5$ ist; alsdann macht *N* $^5/_4$ Mal so viel Schwingungen als der Urton C und giebt die große Tertie E an, welches demnach durch das Verhältniß von 4 zu 5 ausgedrückt wird.

Das nächste einfache Verhältniß ist 5 : 6, welches ein etwas kleineres Intervall ist als 4 : 5. Man wird leicht von selbst darauf verfallen, daß es die kleine Tertie ist C zu Es; man kann sich nicht allein durch das Monochord hiervon überzeugen, indem man den Steg auf die Stelle setzt, wo *M* der sechste Theil der ganzen Saite, also *N* $^5/_6$ derselben ist und dieser Theil nun wirklich Es angiebt, sondern auch durch folgende Schlüsse: Wir haben gefunden, daß die Quinte G $^3/_2$ und die große Tertie E $^5/_4$ ist, zwischen E und G aber ist eine kleine Tertie, die also das Verhältniß $^5/_4$ zu $^3/_2$ giebt, was gleich $^5/_4$ zu $^6/_4$ oder 5 : 6 ist.

Wenn man so fortgeht, so kommt man auf das Verhältniß 7 : 6, ein Intervall, das etwas kleiner ist als 6 : 5; es fragt sich, was dies für ein Intervall sein wird. Man verfällt natürlich zuerst auf die Secunde D und es ist leicht, diese Vermuthung am Clavier sowohl zu prüfen, als auch an dem schon gefundenen Verhältniß FG, was die Secunde ist, nämlich das Intervall zwischen der Quarte und der Quinte $^4/_3$ und $^3/_2$.

Die Secunde giebt demnach das Verhältniß $^4/_3$ zu $^3/_2$ oder 8 : 9, welches kleiner ist als 7 : 6. $^7/_6$ ist daher ein Intervall, welches zwischen die Secunde und die kleine Tertie fällt, mithin in unserer gewöhnlichen Tonleiter nicht vorkommt, obgleich es, wie wir in der Folge sehen werden und wie auch die Folge der Zahlen beweist, zu den natürlichen Tönen gehört.

Die doppelte Octave vom Urton C oder das eingestrichene c (d. h. $\bar{c}$) verhält sich zu C wie 2 mal 2 zu 1, d. h. wie 4 : 1, und die Quinte davon oder das eingestrichene g ($\bar{g}$) zu C wie $^3/_2$ mal 4 zu 1, d. h. wie 6 : 1. Der gesuchte Ton 7 oder $^7/_6$ von g fällt also zwischen die Secunde und die kleine Tertie von g, dies ist zwischen $\bar{a}$ und $\bar{b}$, wovon man sich auch durch das Monochord überzeugen kann, wenn man *M* genau dem siebenten Theil der ganzen Saite, also *N* gleich $^6/_7$ derselben macht, da dann M

etwas niedriger als das eingestrichene b ist und *N* einen Ton angiebt, der zwischen D und Es liegt. Hieraus folgt sogleich, daß $^{8}/_{7}$ das Intervall zwischen diesen unbekannten Tönen (der zwischen den eingestrichenen a und b liegt) und der dreifachen Octave von C, nämlich $\overline{\overline{c}}$ ist. Diese Octave wird durch 2 mal 2 mal 2 oder 2^3, d. h. 8 ausgedrückt.

Das nächste Verhältniß ist, wie wir eben gesehen haben, $^{9}/_{8}$ oder die Secunde D.

Die große Sexte A kann man als die große Tertie der Quarte F ansehen oder c die kleine Tertie von A. Das erstere giebt für A $^{5}/_{4}$ mal $^{4}/_{3}$ oder $^{5}/_{3}$; das andere giebt c zu A wie 6 : 5, also c zu A wie 3 : 5 gleich dem ersteren. Die große Sexte ist demnach das Verhältniß wie 3 zu 5, welches auch mit dem Intervall zwischen G und c übereinstimmt. Es ist nämlich G $^{3}/_{2}$, E $^{5}/_{4}$ und e $^{3}/_{2}$, also das Intervall Gc $^{3}/_{2}$ zu $^{5}/_{2}$ oder 3 zu 5.

Die kleine Sexte As kann man als die kleine Tertie von F oder als die untere große Tertie von c betrachten; ersteres giebt $^{6}/_{5}$ mal $^{4}/_{3}$ oder $^{8}/_{5}$, letzteres $^{4}/_{5}$ mal 2, also gleichfalls $^{8}/_{5}$. Die kleine Sexte ist also das Verhältniß von 5 zu 8.

Die Septime H ist die große Tertie der Quinte G oder die Quinte der großen Tertie E, beides giebt $^{5}/_{4}$ mal $^{3}/_{2}$ oder $^{3}/_{2}$ mal $^{5}/_{4}$, d. h. $^{15}/_{8}$, die große Septime ist also das Verhältniß 8 zu 15 (wir sind der Octave schon sehr nahe gerückt, 8 zu 16 wäre diese).

Auf eben diese Art ist B die kleine Tertie der Quinte G, oder die Quinte der kleinen Tertie Es und beides giebt $^{6}/_{5}$ mal $^{3}/_{2}$ oder $^{18}/_{10}$, d. h. $^{9}/_{5}$. Hierdurch erhielte man zwar die Accorde Es-dur und G-moll rein, aber keine reine Septime, denn da D, F, G reine Intervalle sind, so haben wir schon zwei reine Septimen Gf und Dc und es ist G $^{3}/_{2}$, F $^{4}/_{3}$, also f $^{8}/_{3}$ und D $^{9}/_{8}$, c 2. Hieraus erhält man die Septime Gf $^{3}/_{2}$ zu $^{8}/_{3}$ oder 9 : 16 und Dc $^{9}/_{8}$ zu 2 oder ebenfalls 9 zu 16. Da nun die Basis dieser ganzen Rechnung ist, der Scala des Grundtons reine Intervallen zu geben, so muß man für die kleine Septime B das Verhältniß 9 zu 16 annehmen.

Es fehlen nur noch die halben Töne Fis und Cis; der erstere wird am natürlichsten so bestimmt, daß von den Tönen G und D, welches die zwei nächstfolgenden Quinten von C sind, der erstere eine reine große Septime und der letztere eine reine große Tertie erhält. Der erstere giebt für fis $^{15}/_{8}$ mal $^{3}/_{2}$, also für Fis $^{15}/_{16}$ mal $^{3}/_{2}$ oder $^{45}/_{32}$ und das andere $^{5}/_{4}$ mal $^{9}/_{8}$ oder ebenfalls $^{45}/_{32}$; eben so bestimmt man Cis vermittelst der *folgenden* Quinten A und E, indem man die Octave cis zur großen Tertie

von A und zur großen Sexte von E macht. Beides giebt für cis $^5/_4$ mal $^5/_3$ oder $^{25}/_{12}$, alſo für Cis $^{25}/_{24}$.

Wir haben alſo folgende Verhältniſſe jedes halben Tones zum Grundton C gefunden.

1) Chromatiſche Tonleiter.

C.	Cis.	D.	Es (Dis).	E.	F.	Fis.	G.	As (Gis).
1,	$^{25}/_{24}$,	$^9/_8$,	$^6/_5$,	$^5/_4$,	$^4/_3$,	$^{45}/_{32}$,	$^3/_2$,	$^8/_5$,

A.	B.	H.	c.
$^5/_3$,	$^{16}/_9$,	$^{15}/_8$,	2.

Man wird bei dieſem Verfahren wahrſcheinlich die Bemerkung gemacht haben, daß die drei Intervalle der kleinen Septime B, der großen Quarte Fis und des halben Tones Cis auf eine etwas willkürliche Art beſtimmt ſind und daß die Zahl 7 auf eine auffallende Art überſprungen iſt, indem man von $^6/_5$ unmittelbar zu $^9/_8$ überging und die Verhältniſſe von $^7/_6$ und $^8/_7$ ausließ; man hätte daher vielleicht beſſer gethan, ſtatt die böſe 7 wegzuwerfen, ſich an die natürliche Folge der Zahlen zu halten, woraus auch wirklich die ſogenannten natürlichen Töne entſtehen, d. h. diejenige, welche ein guter Anſatz auf Blaſeinſtrumenten hervorbringt, wie Waldhorn und Trompete, welche nicht mit den Fingern geſpielt werden. Dieſe natürlichen Töne, obgleich ſie nicht ganz in unſer angenommenes Syſtem paſſen, zeichnen ſich doch ſo ſehr aus, daß, wenn ein Virtuoſe auf dem Waldhorn einen andern Ton mit dem Munde oder mit der Hand (durch Stopfen des Schalltrichters) erzwingt, ein feines Ohr ihn ſogleich unterſcheidet. Sie geben nach der Reihe der Zahlen 1, 2, 3, 5, 7 und der aus ihnen zuſammengeſetzten 4, 6, 8, 9, 12, 14 u. ſ. w. folgende

2) Natürliche Tonleiter.

1,	2,	3,	4,	5,	6,	7,	8,	9,	10,	11,	12,	13,	14,	15,	16.
C,	c,	g,	c,	e,	g,	b,	c,	d,	e,		g,		b,	h,	c.

eingeſtrichen. zweigeſtrichen.

Dieſe Tonleiter giebt zu mehreren Bemerkungen Anlaß: 1) die Zahl 11 giebt nicht die reine Quarte, ſondern fällt zwiſchen f und fis, ſo wie 13 weder die kleine noch die große Sexte rein giebt, ſondern zwiſchen beide fällt. 2) Die Töne, welche das Waldhorn ohne Zwang und Künſtelei angiebt, ſind folgende: in der unterſten Octave bloß der Grundton C, in der

nächsten Octave der Grundton mit seiner Quinte, in der dritten Octave außer diesen beiden Tönen noch die große Tertie und die kleine Septime, oder, was man den Septimenaccord nennt, in der vierten Octave die ganze diatonische Tonleiter oder die gewöhnliche Scala von C-dur. Die fünfte Octave würde die chromatische oder gar die enharmonische Tonleiter geben.

Wenn gleich in der vierten Octave das reine f und a des jetzt angenommenen Systems fehlt, so ist dies kein Vorwurf gegen die natürliche Tonleiter, sondern man wird vielmehr daraus schließen, daß in der natürlichen Scala, die wahrscheinlich auch die wohlklingendste ist, die Quinte etwas höher und die Sexte etwas niedriger genommen werden muß als in der Harmonie geschieht. Uebrigens fehlen diese reinen Intervalle in der natürlichen Tonleiter keineswegs; Gc ist eine reine Quinte $^{4}/_{3}$, Ge die große Sexte $^{5}/_{3}$, ec die kleine Sexte $^{8}/_{5}$. Man findet hier sogar die kleine Septime des gewöhnlichen Systems $^{16}/_{9}$, nämlich dc und da in den folgenden Octaven alle ganzen Zahlen vorkommen, so fehlen auch die Intervalle der chromatischen Tonleiter nicht wie $^{25}/_{24}$ und $^{45}/_{32}$.

Außerdem aber hat die natürliche Tonfolge Intervalle, die weder in unserer diatonischen Tonleiter noch in der chromatischen vorkommen $^{7}/_{4}$, $^{11}/_{8}$, $^{13}/_{8}$ u. s. w., sie ist also nicht allein natürlicher, sondern auch reicher als jede andere.

3) Die Töne, die uns angenehm und natürlich klingen, sind diejenigen, deren Schwingungen gegen einander in den natürlichen Verhältnissen der Zahlen stehen. Die Empfindung des Ohres oder das Vergnügen, welches die Seele in solchem Tone findet, besteht in der Auffassung solcher Verhältnisse und die Grundsätze der Melodie und der Harmonie sind nicht eingebildet und willkürlich, sondern in der Natur selbst begründet, so wie die Zahlen 1, 2, 3 u. s. w.

In der diatonischen Tonleiter C, D, E, F, G, A, H, c, sind alle Intervalle halber Töne einander gleich, E, F und H, c sind beide, wie man aus der Scala 1 sieht $^{16}/_{15}$, allein mit den ganzen Tönen verhält es sich anders. Die Intervalle C, D; F, G und A, H haben das Verhältniß $^{9}/_{8}$, D, E und G, A aber haben das kleinere Intervall $^{10}/_{9}$ und doch wird das Ohr dadurch nicht beleidigt oder es bemerkt den Unterschied nicht. Man hat diesen Unterschied für das kleinste Intervall angenommen, das von dem Ohre noch deutlich vernommen werden kann und es mit dem Namen Komma bezeichnet. Das erste Verhältniß des ganzen Tones $^{9}/_{8}$ ist einerlei mit $^{81}/_{72}$, das letzte kleinere ist $^{80}/_{72}$, der Unterschied ist $^{1}/_{72}$, also der 80ste oder 81ste des Intervalles selbst. Um diesen Unterschied aufzu*fassen*, muß man schon ein sehr gebildetes musikalisches Ohr haben, es ist

damit wie mit dem Auge, welches auch geringe Unterschiede in der Proportion von Gegenständen, deren Anordnung, Form und Symmetrie ihnen gefällt, nicht wahrnimmt.

Die hier angegebenen Verhältnisse des Komma's sind übrigens die kleinsten und Alles, auch Größeres, was wenig genug in seinem Zahlenwerthe von der Regel abweicht, um das Ohr nicht zu beleidigen, wird Komma genannt. Man schreibt die Auffindung und Bezeichnung gewöhnlich dem ältesten Theoretiker in der Musik, dem Pythagoras zu.

Um sich die Sache, welche sogar Schriftsteller über die Musik verwirrt hat, deutlich zu machen, stelle man sich vor, daß zwischen C und D, welches das große Intervall $^{81}/_{72}$ ist, noch ein dritter Ton existire, der nach dem kleineren Intervall $^{80}/_{72}$ gestimmt ist und den ich durch D′ bezeichnen werde. Die Töne D und D′ verhalten sich wie 81 zu 80 und ihr Intervall ist von dem Unisono 1 oder $^{80}/_{80}$ nur durch den 80sten Theil verschieden. Das Intervall zweier Töne, wie D und D′, deren Schwingungen sich wie 80 zu 81 verhalten, heißt ein Komma, und man nimmt an, daß wenn zwei Töne so gestimmt sind, daß in derselben Zeit der eine 80 und der andere 81 Schwingungen macht, das Ohr dieselben für gleichgestimmt halten oder ihren Unterschied nicht bemerken würde. Man kann demnach die Regel annehmen, daß jedes musikalische System, welches sich auf Intervalle gründet, die kleiner als ein Komma sind, zu verwerfen sei, daß aber Intervalle, die merklich größer sind als ein Komma, nicht vernachlässigt werden dürfen.

In der chromatischen Scala ist $^{6}/_{5}$ die kleine Tertie Es. Sucht man aber Dis als die kleine Secunde von D oder als die untere Octave der großen Septime von E, so findet man $^{25}/_{24}$ mal $^{9}/_{8}$ oder $^{15}/_{16}$ mal $^{5}/_{4}$ und beides giebt $^{75}/_{64}$, welches Intervall kleiner ist als $^{6}/_{5}$. Es ist also höher als Dis und zwar um das Intervall $^{82}/_{80}$ oder ein doppeltes Komma. Die kleine Sexte $^{8}/_{5}$ ist dadurch bestimmt worden, daß wir sie als die kleine Tertie von F annehmen, sie stellt also As vor. Man mag aber Gis als die große Tertie von E oder als die große Septime von A ansehen, so findet man $^{25}/_{16}$, welches kleiner als $^{8}/_{5}$ ist und zwar verhält sich $^{25}/_{16}$ zu $^{8}/_{5}$ wie 80 : 82, mithin ist das Intervall Gis As wie Dis Es $^{82}/_{80}$. Das Intervall $^{45}/_{32}$ ist als die große Tertie von D gefunden, es stellt also Fis vor. Aber Ges als die kleine Tertie von Es giebt $^{36}/_{25}$ und $^{45}/_{32}$ verhält sich zu $^{36}/_{25}$ wie 80 zu 82, Ges ist also höher als Fis, um dasselbe Intervall. Eben so verhält es sich mit den übrigen Halbtönen; diejenigen nämlich, die durch Erniedrigung entstehen, durch das b in der Musik, sind durchgängig höher als diejenigen, welche durch Erhöhung, durch das Kreuz entstehen und zwar immer um ein doppeltes Komma. Da dieser Unterschied

der Grund des enharmonischen Systems ist, welches die alten Griechen (die die Musik wie einen Theil der Mathematik behandelten) sehr wohl gekannt haben, so sieht man, daß dieses System nach obiger Regel sehr wohl begründet ist, weil es ein doppeltes Komma zur Basis hat, auch haben es die großen Musiker wie Haydn und Mozart oft mit der größten Wirkung benutzt.

Die natürlichste Art, eine enharmonische Tonleiter zu finden, ist die, zwischen jeden zwei Tönen der diatonischen Tonleiter zwei halbe Töne dadurch zu suchen, daß man den tieferen (z. B. D) um einen kleinen halben Ton erhöht und den höheren (E) um einen kleinen halben Ton erniedrigt. Da nun auf eben diese Art Es aus E entsteht, so ist dieses Intervall nichts anderes als der Unterschied zwischen der großen und der kleinen Tertie $^5/_4$ und $^6/_5$, die nicht willkürlich, sondern durch die natürliche Folge der Zahlen bestimmt sind. Es verhält sich demnach Es zu E wie $^6/_5$ zu $^5/_4$ oder 24 zu 25, d. h. Es ist $^{24}/_{25}$ von E und E ist $^{25}/_{24}$ von Es. Man erhält also die enharmonische Tonleiter, wenn man jeden Ton der diatonischen Tonleiter C, D, E, F, G, A, H, c durch Multiplication mit $^{25}/_{24}$ erhöht und durch $^{24}/_{25}$ erniedrigt. So wird Cis $^{25}/_{24}$ von C, Des aber $^{24}/_{25}$ von D und hiernach erhält man folgende

3) Enharmonische Tonleiter.

C,	Cis,	Des,	D,	Dis,	Es,	E,	Eis,	Fes,	F,	Fis,
1,	$^{25}/_{24}$,	$^{27}/_{25}$,	$^{9}/_{8}$,	$^{75}/_{64}$,	$^{6}/_{5}$,	$^{5}/_{4}$,	$^{125}/_{96}$,	$^{32}/_{25}$,	$^{4}/_{3}$,	$^{25}/_{18}$,
Ges,	G,	Gis,	As,	A,	Ais,	B,	H,	His,	ces,	c.
$^{36}/_{25}$,	$^{3}/_{2}$,	$^{25}/_{16}$,	$^{8}/_{5}$,	$^{5}/_{3}$,	$^{125}/_{72}$,	$^{9}/_{5}$,	$^{15}/_{8}$,	$^{125}/_{64}$,	$^{48}/_{25}$,	2.

Bei dieser enharmonischen Tonleiter ist Folgendes zu bemerken: 1) Eis wird gegen die allgemeine Regel höher als Fes, und His höher als ces und zwar aus dem einfachen Grunde, weil zwischen H und c so wie zwischen E und F nur ein großer halber Ton, nicht ein ganzer liegt, von E nach Eis ein kleiner halber Ton, also die Mitte des Intervalls von E nach F überschreitet, eben so zurück von F nach Fes zwar einen kleinen halben Ton, aber mehr als die Hälfte des Intervalls von F nach E beträgt. Gleiches gilt für H und c, bei den andern Intervallen von C nach D, von D nach E u. s. f. ist immer ein ganzer Ton vorhanden und der kleine halbe Ton erreicht aufsteigend nicht den herabkommenden kleinen halben Ton seines Nachbarn. 2) Die kleinsten Intervalle sind zwischen Fes und Eis und zwischen His und ces, aber sie betragen doch beinahe anderthalb Kommata. Die Intervalle Dis zu Es, E zu Fes, Eis : F, Gis : As, H : ces, His : c

betragen ein doppeltes Komma, die Intervalle Cis : Des, Fis zu Ges, Ais : B ein dreifaches Komma und die übrigen 10 Intervalle 3½ Komma. 3) Die Töne C, Cis, Es, E, Fes, Eis, F, Fis, Ges, G, Gis, As, A, Ais und ces haben reine Quinten, His hat gar keine Quinte und die übrigen fünf Quinten haben $^{40}/_{27}$, welches sich zu der reinen Quinte $^{3}/_{2}$ verhält wie 80 : 81, so daß diese fünf unreinen Quinten gerade um ein Komma zu klein sind.

Schwebung und Temperatur der Töne.

Die chromatische Tonleiter, die bei unseren Clavieren zu Grunde liegt, enthält 12 Töne, also auch 12 Intervalle von jeder Art. In der Scala 1 haben 8 Töne, C, E, F, G, As, A, B und H vollkommen reine Quinten und mit Ausnahme von As, A und B auch reine Quarten. Drei Quinten von D, Es und Fis sind um ein Komma zu niedrig und die Quinte Cis-Gis ist um ein doppeltes Komma zu hoch. Es giebt ferner in dieser Tonleiter 7 reine große Tertien, also auch kleine Sexten, nämlich CE — D-Fis und EsG — FA, GH, Asc, Acis. Die übrigen fünf sind um ein einfaches oder doppeltes Komma zu groß. Eine reine kleine Tertie haben die sechs Töne C, Cis, E, F, A, H; bei allen übrigen Tönen ist dieses Intervall um ein einfaches oder doppeltes Komma zu klein; vollkommen reine Duraccorde sind also nur C, F, Ges, As, A, reine Mollaccorde C, E, F, A, H, und nur die drei Töne C, F, A haben beides, einen reinen Dur- und einen eben so reinen Mollaccord.

Obgleich also diese Tonleiter für die gewöhnlichsten Töne wie C, F, G, A rein genug ist, so weicht sie doch sehr von der Reinheit ab, wenn man in jeder Tonart spielen will, wie es die neuere Theorie der Musik erfordert. Für den Sänger oder denjenigen, der ein Streichinstrument behandelt, macht dies keine Schwierigkeit, weil er bei gutem Gehör in jeder Tonart rein intoniren oder greifen wird. Er hat gleichsam über 12 verschiedene Instrumente zu disponiren, wovon das eine in C, das andere in Cis u. s. w. rein gestimmt ist. Allein auf den Instrumenten mit festen Tönen, wie das Clavier und die Blaseinstrumente, würde die Wirkung unerträglich sein, weil der Fehler ein doppeltes Komma beträgt und weil dieselbe Taste oder derselbe Griff mehrere Dienste leisten oder verschiedene Töne nach dem enharmonischen System vorstellen soll, z. B. Dis und Es die übermäßige Secunde und die kleine Tertie.

Man ist daher genöthigt gewesen, von der mathematischen Genauigkeit der obigen Verhältnisse etwas nachzulassen, welches aber niemals mehr als

ein Komma betragen darf, so daß nun keine Tonart vollkommen rein, aber auch keine so unrein ist, daß das Ohr dadurch beleidigt wird. Dieses Nachlassen von der mathematischen Strenge ist es, was man in der Musik oder bei der Stimmung des Claviers Temperatur nennt und die Abweichung jedes Tones von seinem reinen Verhältnisse, die dadurch entsteht, heißt seine Schwebung, die aber nie mehr als ein Komma betragen darf.

Die Musiker haben eine Menge von Temperaturen ersonnen, die alle, wie billig, von dem Grundsatze ausgehen, daß die Octave vollkommen rein oder mit andern Worten: daß die Melodie im Basse nicht anders klingen müsse als im Discant, und daß die Quinte so rein wie möglich gehalten werden müsse. In der That wird das Ohr durch die geringste Unreinheit in der Octave beleidigt und eine Schwebung der Octave würde eben die abscheuliche Wirkung machen, als wenn im Orchester das Waldhorn oder der Contrabaß nicht genau mit der Violine stimmen. Auch ist es gewiß, daß nächst der Octave die Quinte diejenige Consonanz ist, für deren Reinheit das Ohr am empfindlichsten ist, wie die Clavierstimmer sehr wohl wissen.

Reine, angeblich chinesische Temperatur. (Gleichschwebende T.)

Die erste Temperatur, auf die man verfallen könnte, ist die, alle Quinten einander gleich zu machen. 12 auf einander folgende Quinten, CG, Gd u. s. w., führen wieder auf den Grundton C′ und dies letzte C ist die siebente Octave vom ersten C, verhält sich also zu denselben wie 128 zu 1. Wäre nun aber jede Quinte rein oder $^3/_2$, so würde das letzte C sich zum ersten beinahe wie 130 zu 1 verhalten; jede der 12 gleichen Quinten muß daher etwas kleiner als $^3/_2$ genommen werden, so daß 12mal wiederholt sie genau das Verhältniß von 1 zu 128 giebt.

Stellt man diese Rechnung an, so findet man, daß jede Quinte $^{884}9/_{5906}$ statt $^3/_2$ haben muß; $^3/_2$ aber auf obige Nenner gebracht, geben $^{885}9/_{5906}$. Dieses $1/_{800}$ beträgt, wie wir schon aus der Zahl $1/_{800}$ hören, kaum den zehnten Theil eines Komma (was $1/_{80}$ ist). Das Intervall zwischen der echten reinen und der temperirten Quinte ist mithin so klein, daß es unmerklich wird. Diese Temperatur soll die Basis der chinesischen Musik sein, ist es aber wahrscheinlich nur in ihren mathematischen Speculationen über die Kunst oder in den Erzählungen der jesuitischen Missionaire. Die Theorie der Musik mag dieses ernste, sehr nachdenkende Volk wohl bis auf solche Feinheit der Berechnung getrieben haben, in der Ausübung sind sie Stümper, wie es wenige auf Erden giebt, und keines ihrer

uns bis jetzt bekannt gewordenen Inſtrumente hat eine Ausbildung erreicht, welche ihrer Theorie parallel wäre. Dieſe Temperatur kommt übrigens ganz nahe mit der folgenden überein, welche von Marpurg (einem der größten Theoretiker in muſikaliſchen Wiſſenſchaften während der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts) vertreten worden iſt.

Nach dieſer gleichſchwebenden Temperatur ſind alle zwölf halbe, folglich auch alle ſechs ganze Töne der Octave und überhaupt alle Intervalle, die Quinten, Tertien u. ſ. w. einander vollkommen gleich. Daraus folgt, daß der ganze Ton oder die große Secunde CD, DE, EFis u. ſ. w. der Zahl gleich ſein muß, welche ſechsmal mit ſich ſelbſt multiplicirt die Octave oder die Zahl 2 giebt. Der halbe Ton CCis wird die Zahl ſein, die mit ſich ſelbſt multiplicirt den ganzen Ton giebt. Das Intervall eines ganzen Tones läßt ſich demnach ſehr genau durch das Verhältniß $^{889}/_{792}$ ausdrücken, welches zwiſchen $^{880}/_{792}$ und $^{891}/_{792}$ oder zwiſchen zwei ganzen Tönen der diatoniſchen Tonleiter $^{1}/_{9}$ und $^{1}/_{8}$ liegt, ſo daß der Fehler weniger als ein Komma beträgt.

Dieſe Temperatur hat unſtreitig den Vorzug, daß alle 12 Tonarten ſowohl in Dur als in Moll, wenn gleich nicht vollkommen genau, doch ſo rein ſind, daß das Ohr den Fehler nicht bemerken kann. Allein außer der Schwierigkeit, alle halben Töne des Claviers genau nach einem Verhältniſſe zu ſtimmen, das ſich nur durch ſehr große Zahlen $^{2120}/_{2001}$ ausdrücken läßt, oder alle Quinten nach dem Verhältniſſe $^{8849}/_{5906}$, iſt der Umſtand, daß eine Tonart genau ſo rein wie die andere, daß es alſo ganz gleichgültig iſt, aus welchem Tone ein Stück geſetzt wird, von der Art, daß gewiß alle Componiſten unſeres Jahrhunderts dieſe Temperatur allein deswegen verwerfen werden. Es iſt in der neueren Muſik allgemein angenommen, daß jede Tonart ihren beſonderen Charakter habe und nicht ohne Grund, wenn gleich wie gewöhnlich viel Uebertreibung und Einbildung dabei mit im Spiele iſt. Man ſpricht immer von dem prachtvollen Es-Accord, von dem ſanften F, von dem brillanten E ꝛc., aber Niemand giebt einen Grund hierfür an oder denkt daran, daß die Wirkung jeder Tonart ſich nur auf ein ſo oder anders temperirtes Clavier, auf dieſes oder jenes Blaſeinſtrument beziehen kann und bei der Singſtimme gar nicht ſtattfindet, weil der Sänger in jeder Tonart nach dem Gehör rein intoniren wird.

Indeſſen iſt es wohl gewiß, daß die einmal gewählten Tonarten dem Componiſten eigenthümliche Ideen angeben, daß er z. B. anders aus Es als aus Fis componiren wird, und wenn wir gleich die Sache nicht erklären können, ſo iſt doch nicht zu läugnen, daß der verſchiedene Charakter jeder Tonart, ſelbſt wenn er dem Componiſten unbekannt iſt, die Muſik in der

That bereichert, weil dadurch eine Mannigfaltigkeit und Abwechselung, besonders bei den Uebergängen aus einer Tonart in die andere entsteht, die bei vollkommen gleicher Reinheit aller Töne sich gar nicht denken läßt. Dies äußert sich am stärksten bei den Blaseinstrumenten, auf denen man trotz der Vermehrung der Klappen es doch glücklicherweise nicht hat dahin bringen können, daß alle Töne vollkommen rein sind. Jedes Blaseinstrument hat daher seine Favorit- und seine ungünstigen Tonarten (dies springt am meisten bei der Clarinette ins Gehör), auf den Saiten- (Streich-) Instrumenten klingt die bloße Saite anders als der gegriffene Ton, jede Tonart wird also nach der Fingersetzung, die dabei gebraucht wird, eine verschiedene Wirkung machen. Auf dem Clavier, der Harfe, der Guitarre und der Orgel klingen dagegen alle Töne gleich und man kann diesen Instrumenten den Vorzug, welchen die übrigen durch den eigenthümlichen Charakter der Tonarten haben, nur durch eine ungleiche Temperatur geben.

Ungleich schwebende Temperatur.

Aus solchem Grunde ist die bisher betrachtete gleich schwebende Temperatur allgemein verworfen worden, und ihr vornehmster Gegner Kirnberger, Hofmusikus in Berlin und der größte Contrapunktist und Theoretiker in der Kunst der Musik, setzte an ihre Stelle eine Tonleiter von C, in welcher zwar die Töne C, D, E, F, Fis, G, B, H genau so gestimmt sind wie in der chromatischen Tonleiter, Cis aber um ein Komma, A um ein halbes Komma höher als dort, Es und As aber genau um ein Komma niedriger sind.

Auf einem so temperirten Clavier giebt es 9 reine Quinten, eine mehr als in der chromatischen Scala, die übrigen 3 Quinten DA, Fiscis und Ae sind zu klein. Reine große Tertien haben nur die Töne C, D, G; reine kleine Tertien E und H, alle übrigen großen Tertien sind zu groß, die kleinen Tertien zu klein. Es folgt hieraus, daß nur die Duraccorde von C und G und die Mollaccorde von E und H vollkommen rein sind und daß kein Ton zugleich Dur- und Mollaccord rein hat. Die unvollkommensten Accorde sind A und Fis, weil beide nicht allein eine unreine Quinte, sondern auch eine unreine große und kleine Tertie haben. Durch diese Unreinheit unterscheidet sich A und Fis sowohl in Dur als in Moll von allen übrigen Accorden, so wie die Duraccorde von C und G und die Mollaccorde von E und H sich durch ihre Reinheit auszeichnen.

Die Tonart D hat das besondere, daß sie im Moll eben so unrein ist wie A und Fis in Dur, aber eine reine Tertie bei unreiner Quinte

hat. Alle übrigen Accorde, nämlich F, B, Es, As, Des oder Cis sind zwar in Dur und Moll unrein, haben aber doch eine reine Quinte, unter ihnen sind die Duraccorde B, Es, As und Cis einander gleich und etwas weniger rein als F. Die Mollaccorde Es und As sind am wenigsten unrein, Cis am meisten.

Vortheile der ungleich schwebenden Temperatur.

Es würde leicht sein, eine Menge anderer Methoden zu erfinden, wie das Clavier auf eine wohlklingende Art temperirt werden kann, und fast jeder Clavierstimmer befolgt (meistentheils ohne es zu wissen) ein besonderes System der Temperatur.

Es lag in der Absicht, durch die vorliegende Erklärung der Kirnberger'schen Methode zu zeigen, wie jede Tonart auf der Orgel oder dem Piano ihren eigenthümlichen Charakter erhält und dennoch ist hier nur auf die Quinte und die Tertie Rücksicht genommen, aber auch die übrigen Intervalle oder die jeder Tonart eigenthümliche Scala oder Gamme (französische Benennung) trägt sehr viel zum Charakter bei. Hierzu kommt nun noch die Verschiedenheit der Tonarten, die jedem Tone am nächsten verwandt sind oder in welche der Componist gewöhnlich übergeht. Die Accorde von C-dur und G-dur machen dieselbe Wirkung, aber der Uebergang von dem ersteren in das unreine A-moll und des letzteren in das reine E-moll müssen nothwendig verschiedene Wirkung hervorbringen.

Man sieht hieraus, welche unendliche Mannigfaltigkeiten und neue Schönheiten der Musik durch diese verschiedenen Combinationen entstehen, die bei gleich schwebender Temperatur gar nicht stattfinden würden. Es ist wahr, daß Alles dieses sich nur auf die Orgel und das Clavier bezieht und auf die menschliche Stimme gar nicht anwendbar scheint, allein wenn ein Sänger von feinem Gehör in jeder Tonart rein intonirt, so wird ein Sänger von Gefühl durch die Empfindung oder die Worte, die er ausdrückt, hingerissen von selbst, vielleicht ohne es zu wissen, die Intervalle auf mannigfaltige Art temperiren. Dem Componisten für das Orchester bietet sich in dem eigenthümlichen Charakter jedes Instrumentes, in den verschiedenen Tonarten, die auf jedem Blaseinstrumente mehr oder weniger rein sind, ein neues Feld dar, welches in früherer Zeit vielleicht von Niemandem besser benutzt ist als von Haydn, dem großen Kenner des Orchesters, in neuerer

Zeit aber in Spontini, Weber und Meier Beer*) Componisten gefunden hat, welche die Eigenthümlichkeiten der verschiedenen Instrumente auf eine Art auszubeuten gewußt haben, wie es nie vorher geschehen.

Alte Musik.

Indessen sind unerachtet der Temperatur alle Tonarten der neueren Musik einander so ähnlich, daß die Eigenthümlichkeit einer jeden gar nicht mit der zu vergleichen ist, die bei der alten griechischen Musik stattfand. Die Griechen hatten ursprünglich nur vier Saiten auf ihrer Leier, die nicht durch Greifen verändert und nach den zwei Quarten Ae, ca oder nach zwei Quinten Ac, da gestimmt wurden. In der Folge füllten sie die Lücken aus, so daß die diatonische Scala von C entstand, nämlich A, H, c, d, e, f, g, a. Nach unserem neuen System hätte man diese Töne nur zu C-dur oder A-moll gebrauchen können, die Griechen aber gebrauchten sie zu jeder Tonart; so sieht man leicht, welche sonderbare Wirkung daraus entstehen mußte und wie verschieden die Tonleiter und der Charakter sein mußte. In der That würde ein durch die neuere Musik gebildetes oder verwöhntes Ohr es schwerlich haben ertragen können, wenn das Orchester aus E-dur intonirte und keine anderen als die obigen Töne gebrauchte. Indessen muß man gestehen, daß die altschottischen Balladen, die wahrscheinlich nach einem ähnlichen System gesungen wurden, einen eigenthümlichen Reiz und eine gewisse Wildheit des Charakters haben, welche sie ergreifender macht als die meisten neueren Compositionen mit all ihrer Regelmäßigkeit. Dieser Reiz liegt freilich allein in der Melodie, deren ungewöhnliche, unerwartete, sogar bizarre Modulationen stärker zum Herzen reden als der gewöhnliche hundertmal gehörte Gang, dessen Ende schon der Anfang errathen läßt.

Freilich beugt sich dieser wilde Gesang nicht leicht unter die Regeln unserer Harmonie und es ist wahrscheinlich, daß deswegen die Griechen die Harmonie gar nicht kannten, weil ihre Musik derselben gar nicht fähig war. Indessen hat doch Haydn vermocht, dem unveränderten melodischen Gange der schottischen Balladen eine schöne und reiche Harmonie unterzulegen und sie so theils dem mehrstimmigen Gesange, theils der Instrumentalbegleitung zugänglich zu machen. Es ist dies vielleicht das höchste, was

*) So, und nicht wie er gewöhnlich geschrieben wird Meierbeer, lautet der Name. Die drei Brüder heißen: Michael Beer, der verstorbene Dichter, Wilhelm Beer, der verstorbene Astronom und Meier Beer, der noch lebende Componist.

in der Musik geleistet worden, wenn man nicht unter den Zigeunern in Ungarn und der Wallachai noch kühnere Instrumentalisten findet, denn es ist außerordentlich, was einige ihrer musikalischen Genies in der Instrumentirung der wallachischen und serbischen Nationalgesänge geleistet haben.

Die schottischen Balladen sind wahrscheinlich die ältesten Nationalgesänge, welche wir kennen, aber sie haben noch eine andere historische Merkwürdigkeit. Sie sind zuerst gesammelt (vielleicht zum Theil componirt, meint Schubert) von dem einzigen Musiker außer David und Nero, der eine Rolle in der Geschichte gespielt hat, nämlich von dem Piemontesen David Rizzio, der von einer Stelle in der Capelle der unglücklichen Maria Stuart sich zu ihrem Günstlinge und mächtigsten Vertrauten erhob und von ihrem brutalen Gemahl und mehreren schottischen Lords an der Tafel der Königin, von ihren Armen bedeckt, auf die unmenschlichste Weise ermordet wurde.

Als die alte Geschichte Schottlands und die ehemaligen Sitten dieses merkwürdigen Landes durch die leider beinahe vergessenen Mac Pherson'schen Gesänge Ossian's und die reichhaltigen, auf historischem Grunde ruhenden Romane Walther Scott's recht allgemein bekannt geworden, wäre es vielleicht an der Zeit gewesen, eine Sammlung dieser altschottischen Balladen herauszugeben, jetzt hat sich das Interesse an Land und Volk schon so sehr verloren, daß man die darauf bezüglichen Romane kaum mehr kennt und Raupach's satyrische Anspielungen auf die Scothomanie in seinen Schleichhändlern kaum mehr versteht.

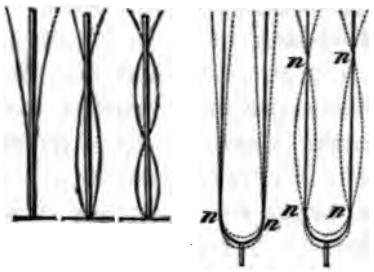
Anzahl der Schwingungen.

Das bisher Gesagte lehrt lediglich die Verhältnisse kennen, die zwischen den Schwingungen der mancherlei Töne stattfinden, aber nicht die wirkliche Anzahl der Schwingungen, die jeder Ton in irgend einer Zeit macht. Wir wissen, daß die Octave zweimal, die Quinte anderthalbmal so viel Schwingungen macht als der Grundton, aber wie viele macht denn dieser? Mit Savart haben wir auf diese Frage bereits im Voraus dadurch geantwortet, daß wir die Speichen- und die Radsirenen anführten, mit Scheibler dadurch, daß wir die Schläge oder Battements zählten, welche zwei Stimmgabeln mit einander machen, wir können aber noch eine dritte Methode anführen, die der Schwingungen von elastischen Stäben.

Die Art ihrer Schwingungen richtet sich darnach, wie sie befestigt sind; sie können nach Art der Stäbe bei der Glasharmonika in der Gegend der Knotenpunkte aufliegen, sind also an beiden Enden frei, dann schreiten sie an beiden Enden aus oder sie sind gleich einer Saite befestigt, dann

ſchwingen ſie auch wie eine Saite, oder ſie ſind endlich nur an einem Ende befeſtigt, dann können ſie, wie die hier gegebene Zeichnung zeigt, auf eine

Fig. 76. Fig. 77.



Weiſe ſchwingen, daß ſie nur einen Knotenpunkt an einem Ende haben oder daß ſie einen zweiten in ½ der Länge vom freien Ende zeigen, oder ſie haben drei Knotenpunkte, wie die dritte Zeichnung der Fig. 76 andeutet, ſo daß an dem freien Ende ein Abſchnitt gleich ⅓ der ganzen Länge frei ſchwingt und zwei Schleifen entſtehen. Es iſt bei ſehr langen Stäben möglich, noch mehr Knoten hervorzubringen, für uns iſt jedoch nur der erſte Fall von Wichtigkeit, da wir den Stab an einem Ende eingeklemmt ſehen und er hin und her ſchwingt, ohne weiter einen Knoten zu machen, auch findet dieſe Schwingungsart allein Anwendung zu Stimmgabeln und muſikaliſchen Inſtrumenten. Die Fig. 77 zeigt die Schwingungen zweier Stimmgabeln, deren eine zwei Knotenpunkte *n* hat, die andere aber vier. Wenn die Stimmgabeln ungeſchickt lang ſind, ſo findet dieſe letzte Schwingungsart ſtatt, man ſucht ſie jedoch zu vermeiden, indem ſo erzeugte Töne leicht unrein werden.

Wenn man einen Metallſtab an einem Ende feſthält (einklemmt oder durch Umgießen mit einem andern leicht flüſſigen Metalle befeſtigt) und er hat die nöthige Länge, ſo ſieht man ihn langſame Schwingungen machen, je nach der Länge und Stärke drei, vier oder mehr Schwingungen in der Secunde.

Verkürzt man den Stab mehr und mehr, ſo werden ſeine Schwingungen häufiger, aber in einem anderen Verhältniß als bei den Saiten. Dieſe nämlich erreichen bei gleicher Spannung und halber Länge die Octave, elaſtiſche Stäbe erreichen bei derſelben Verkürzung die Doppeloctave, ſie ſchwingen alſo bei der Verkürzung um die Hälfte nicht doppelt ſo ſchnell, ſondern viermal ſo ſchnell.

Auf dieſes feſtſtehende, durch Verſuche genau ermittelte Schwingungsverhältniß geſtützt, iſt man berechtigt anzunehmen, daß die Längen vibrirender elaſtiſcher Stäbe uns ein Mittel geben werden, die Anzahl der Vibrationen, welche zu den verſchiedenen Tönen nöthig ſind, zu finden und man ſagt nun: dieſer Stab macht zwei Schwingungen in der Secunde, man ſieht ſie deutlich und kann ſie ſehr gut zählen, er wird verkürzt und macht

 fünf und mehr Schwingungen, endlich kann man acht derſelben, nämlich

vier nach rechts und vier nach links noch ganz deutlich zählen. Mißt man nun die Länge des Stabes, so wird man finden, daß er von da, wo er zwei Schwingungen, bis dahin, wo er acht derselben machte, genau um die Hälfte verkürzt worden ist.

Noch ist kein Gedanke eines Tones zu hören; man fährt aber mit der Verkürzung des Stabes fort und endlich vernimmt man einen außerordentlich tiefen, summenden Ton, den ersten Anflug eines solchen, der das Ohr trifft.

Man mißt abermals und findet den Stab wieder um die Hälfte verkürzt, also in seiner Schwingungsanzahl um das Vierfache vermehrt, d. h. statt 8 Schwingungen macht er 32, und so sagt man mit Recht, der tiefste Ton, der gehört werden kann, fordert 32 Schwingungen in einer Secunde.

Dieser tiefste hörbare Ton kommt mit demjenigen überein, welchen eine offene Orgelpfeife von 32 Fuß Länge giebt, dasjenige C, welches um 2 Octaven tiefer ist als das tiefste C auf dem Violoncell. Wenngleich dieser Ton nebst seiner ganzen höheren Octave, ja noch weiter, beinahe bis zur Grenze der zweiten Octave zu tief ist, um durch das Ohr genau aufgefaßt werden zu können, so geben die benachbarten höheren Octaven ein leichtes Mittel an die Hand, theils aus der Höhe im Vergleich mit der Länge, die Töne zu bestimmen, welche so langsame Schwingungen machen müssen, theils den Ton selbst zu hören, indem man ihn mit seiner höheren Octave zusammen bringt, wodurch er selbst Färbung erhält und gehört werden kann. Was die Schwingungszahl der tiefsten Orgelpfeife betrifft, so ist es allerdings merkwürdig, daß sie, die 32 Schwingungen (16 Verdichtungen und 16 Verdünnungen) in der Secunde macht, gerade 32 Fuß lang ist; allein es ist nur zufällig, daß es so ist, nämlich daß diese Pfeife 32 Fuß lang ist, kommt nur davon her, daß unser Fußmaß (das preußische oder rheinische) gerade 32mal in der Länge solcher Pfeife aufgeht, in Frankreich, England, Oesterreich, Würtemberg ꝛc. ist dies nicht der Fall, in Frankreich hat diese 32mal schwingende Orgelpfeife nur 31 Fuß Länge, in Würtemberg hat dieselbe beinahe 35 Fuß, hier ist das Fußmaß kleiner, in Frankreich größer als bei uns, ja, was noch beinahe schlimmer ist, die Stimmung ist verschieden in verschiedenen Ländern und zwar gar nicht unbedeutend; nach den Original-Stimmgabeln des a verschiedener Orchester, welche Spontini dem bekannten Physiker und Mathematiker Fischer in Berlin zur Untersuchung übergab, hat das Théâtre italien in Paris die niedrigste und das Opernhaus in Berlin die höchste Stimmung, sie weicht bei dem a um 26 Schwingungen in der Secunde ab, da dieser Ton aber in der Secunde 848 Schwingungen macht, so beträgt dies schon $\frac{1}{34}$, also beinahe 3 Komma, welches sehr deutlich hörbar ist, und sobald es sich um Longitudinalschwin-

gungen handelt, wie bei Orgelpfeifen, einen sehr wesentlichen Einfluß auf die Länge hat.

Grenzen hörbarer Töne.

Gehen wir nochmals von dem tiefsten Orgelton aus, welcher 32 Schwingungen macht, so finden wir dessen Octave (die Töne der 16füßigen Pfeife) auf dem Contrabaß, welcher deshalb auch ein 16füßiges Instrument genannt wird, so wie das Cello ein 8füßiges, weil dessen C mit 128 Schwingungen den Tönen der 8füßigen Orgelpfeife gleichkommt; das niedrigere Contra B des Fagotts, welches ein sehr schöner reiner Ton ist, hat 114; das unterste C der Bratsche steht wieder um eine Octave höher als dasjenige des Cello's, es hat 256 Schwingungen; das tiefste G der Geige 384, das D der Flöte 576, das A der Violine, nach welchem gewöhnlich gestimmt wird, hat 854 (im Berliner Orchester 874, nach welcher Zahl sich natürlich alle andern Angaben modificiren würden, sie sind gestützt auf die Pariser Orchester der italienischen Oper), das viergestrichene C, welches eine Orgelpfeife von 3 Zoll voraussetzt, macht 4096 Schwingungen und den höchsten Ton, den eine Sängerin im Falset angeben kann und welcher eine Orgelpfeife von 1 ½ Zoll Länge voraussetzt, fordert 8192 Vibrationen der Stimmbänder.

Man kann das Contra B und das fünfgestrichene C als die Grenzen aller singbaren und melodischen Töne ansehen, so daß das ganze Gebiet unserer Musik aus 6 Octaven oder 75 Tönen besteht, die 114—8200 Schwingungen in einer Secunde machen, es giebt jedoch noch Töne, die außerhalb dieser Grenzen liegen, allein man erkennt sie einzeln nicht mehr deutlich, daher es auch sehr schwer ist, dieselben zu stimmen, wiewohl unsere schönen Flügel 6 ½ Octaven haben. Dennoch hat unsere vollkommenste Orgel über diese Grenzen hinaus noch zwei Octaven in der Tiefe und eben so viel in der Höhe, von 32 Fuß Länge bis zu $^1/_{32}$ Fuß, d. h. kaum $^1/_3$ Zoll, oder dem Klange nach vom Contra C bis zum siebengestrichenen C, welches 10 Octaven ausmacht. Solche Töne würden *allein* keine Wirkung thun und nicht verstanden werden, aber mit den höheren und niederen Octaven verbunden werden sie verständlich und dienen zu einer Verstärkung, die besonders in der Tiefe eine große Wirkung macht wie das Pedal der Orgel und die tiefsten Töne des Contrabasses, die nur durch die Begleitung des Manuals oder des Violoncells deutlich bestimmt werden.

Der obige Versuch mit der metallenen Stange beweist, daß es Schwingungen giebt, die so langsam sind, daß unser Ohr sie nicht empfindet und dies läßt vermuthen, daß es auch Schwingungen giebt, die wir wegen ihrer

zu großen Geschwindigkeit nicht hören können; dies wären denn unhörbare Töne, über welche schon Herschel geschrieben und welche die Alten sich vielleicht bei der Harmonie der Sphären gedacht haben und welche es wohl geben mag, wie wir oben bereits bemerkt, so wie es Lichtstrahlen giebt, die nicht sichtbar, wohl aber chemisch wirksam und wärmeerregend sind und zwar in einem höheren Grade als die sichtbaren selbst. Was wir die Hörbarkeit der Töne nennen, kann sich begreiflich nur auf den Menschen beziehen, von der Empfindlichkeit des Gehörorganes der meisten Thiere haben wir ja nicht einmal entfernte Begriffe.

Zweck der Zählung der Schwingungen.

Diese Zählung der Schwingungen ist keine leere Speculation, es verhält sich damit wie mit den Maßen und den Gewichten; unsere Ellen und Toisen, unsere Pfunde und Centner ändern sich, ohne daß wir es merken. Die Gradmessungen der alten Griechen haben wenig Werth für uns, weil wir ihr Studium nicht genau kennen, so auch können wir ihre Musik nicht richtig beurtheilen, weil wir nicht wissen, wie hoch ihre Leier, ihr Tetrachordon, ihre Flöten gestimmt waren und nicht besser würde es den schönsten Compositionen unserer Zeit nach Jahrhunderten gehen, wenn ein barbarisches oder ein unmusikalisches Zeitalter bis dahin einträte. Allein nach Jahrtausenden können diese Compositionen eben so aufgeführt werden wie jetzt, weil unsere Zeitgenossen sich die Mühe gegeben haben, die absoluten Zahlen jedes Tones, jeder Note zu bestimmen. Hätten die Alten das Nämliche gethan oder hätten sie vielmehr die dazu nöthigen physikalischen und mathematischen Kenntnisse gehabt (denn an Neigung zu solchen Untersuchungen fehlte es wenigstens den Griechen nicht), so wüßten wir jetzt, aus welchem Tone und in welcher Octave die Hymne an die Nemesis gesungen ward und die Antiquare würden das Vergnügen haben, denselben Ton angeben zu können, durch den die musikalische Tuba die römischen Legionen in's Treffen rief.

Auf ähnliche Art werden unsere Messungen der spätesten Nachwelt von Nutzen sein, wenngleich Meter- und Normalmaßstäbe verloren sind, weil sie sich immer wieder herstellen lassen, nämlich durch eine Gradmessung (Mètre oder Meter ist der zehnmillionste Theil eines Quadranten des durch Paris gehenden Meridians) oder durch eine Pendelbeobachtung in Berlin, London oder Paris. (Derjenige Pendel, welcher in der Zeit, in welcher die Erde sich einmal um ihre Axe dreht, 86,164 Schwingungen macht, giebt 3 Fuß, 86,400 ist die Zahl der Secunden im Laufe eines mittleren Sonnentags.)

Selbst den Bewohnern anderer Planeten, wenn wir mit ihnen Gemeinschaft hätten, könnten wir durch diese Zahlen und nur dadurch eine Idee von unserer Musik geben, denn ohne Zweifel giebt dieselbe Saite, dieselbe Pfeife oder Stimmgabel auf dem Saturn einen andern Ton als auf der Erde, weil dort die Schwere und die Atmosphäre von der unsrigen verschieden ist, auch sind wahrscheinlich die Orchester und die Ohren der Saturnsbewohner anders gestimmt, allein eine Saite, die in einer irdischen Zeitsecunde 850 Schwingungen macht, müßte dennoch dort so gut das a geben wie bei uns.

Das Gehör.

Das Organ des Hörens ist eine wunderbar zusammengesetzte Maschine und wir sind noch weit von der genauen Kenntniß ihrer einzelnen Theile entfernt, Vieles ist noch unerklärt und wenn der Anatom auch sagt: dieses Knöchelchen dient hierzu, jenes zu dem Zweck, so ist doch ein so klares Bild, wie z. B. wir von dem Auge und der Wirkung desselben haben, noch immer zu wünschen; was aber wir davon wissen, wollen wir in kurzen Worten zu geben suchen.

Das äußere Ohr, dessen Form ein Jeder kennt, darf wohl nicht erst beschrieben werden, es ist die Schalltrompete, es ist das große Thor, durch welches die Schallstrahlen eindringen und in das Innere geleitet werden sollen.

Fig. 78.

Dieses Innere befindet sich in einem Theil des Schläfeknochens *TT*, welcher sich tief nach dem Innern des Kopfes fortsetzt *TR* und wegen seiner außerordentlichen Festigkeit und Härte das Felsenbein genannt wird. Aeußerlich von *T* nach *T* ist dieser Knochen mit der Haut des menschlichen Kopfes überzogen, an welchem sich die Ohrmuschel *P* ansetzt, inwendig, wo die Buchstaben *TKtN* laufen, ruht auf diesem Knochen die Basis des Gehirns.

Mitten in dieses Felsenbein führt ein Gang, welcher äußerlich mit der *Muschel c* beginnt und etwas vorwärts und aufwärts geneigt und verengert

bis zur Paukenhöhle erstreckt. Der Gehörgang ist mit *ca* bezeichnet, die Paukenhöhle ist nebenbei etwas größer gezeichnet, ihre Lage in der Gesammtfigur giebt der Buchstabe ..... *C* an. Sie ist in das Felsenbein gebohrt, mehr als halbrund, mit Luft gefüllt und von dem äußern Ohr durch eine feine Haut, das Trommelfell *t* getrennt.

Diese Paukenhöhle hat vier Oeffnungen. Die eine derselben leitet zu dem Schlauch *e*, den man die eustachische Röhre nennt, welche in dem Hintergrund der Nasencanäle mündet, es soll dadurch die Verbindung der Luft im Innern der Paukenhöhle mit der äußeren Luft erhalten werden.

Zwei andere Oeffnungen, von ihrer Form das ovale Fenster und das runde Fenster genannt, liegen dem Trommelfell gegenüber, sie sind durch sehr feine Häutchen geschlossen, endlich ist die vierte Oeffnung in der Höhe der Paukenhöhle angebracht und sie dient zur Verbindung dieser letzten mit andern Zellen, welche in dem Felsenbein liegen.

In der Paukenhöhle (welche neben der größeren Zeichnung zu sehen) liegen vier kleine, eigenthümlich geformte Knöchelchen, welche eine Kette bilden, zusammenhängen. Sie sind hier in natürlicher Größe dargestellt (die übrige Zeichnung hat nur $^3/_4$ der natürlichen Größe); das erste Knöchelchen heißt der Hammer, eine seiner drei Vorragungen ist mit dem Trommelfell verbunden, es giebt dieser Hammer die Bewegungen, welche das Trommelfell durch die Lufterschütterungen erhält, weiter; ein zarter Muskel hält den Hammer gegen die Trommelhaut gedrückt. Zunächst dem Hammer liegt der Ambos *n* und das linsenförmige Bein *l*, daran schwebt der Steigbügel *o*. Das ovale Blatt desselben nach oben gerichtet, schließt das ovale Fenster und wird durch den Muskel *m'* dagegen gedrückt. Diese Theile mit der Paukenhöhle, welche sie einschließt, nennt man das mittlere Ohr.

Das innere Ohr umfaßt das Labyrinth, welches aus mehreren Windungen und Höhlungen in dem Felsenbein besteht und der wichtigste Theil des Gehörorganes zu sein scheint. Das Vestibule oder der Vorhof *v* schließt sich zunächst an die Paukenhöhle und hängt damit durch das ovale Fenster zusammen. Daran schließen sich die drei halbkreisförmigen Canäle und die Schnecke, ein spiralförmig um einen knöchernen Stamm gewickelter Gang, ganz wie eine kleine Landschneckenschale gestaltet. Die Canäle und Höhlen sind mit einer Flüssigkeit und einem Gallert gefüllt und von Säckchen mit solchen Flüssigkeiten umgeben, auf denen und innerhalb deren sich die äußersten Enden der Gehörnerven ausbreiten. Das ovale Fenster ist, wie bereits gesagt, verschlossen durch ein zartes Häutchen und den darauf ruhenden Fuß des Steigbügels, es führt zu den mit Flüssigkeit gefüllten Canälen, das runde Fenster bildet den andern Ausgangspunkt dieser Canäle, es dient, um

der durch den Druck des Steigbügels zusammengepreßten Flüssigkeit Raum zum Entweichen zu gestatten, indem sie das Häutchen, welches dieses Fenster schließt, so weit spannt, als sie (die Flüssigkeit) durch den Druck des Steigbügels verschoben wird. Von dem Trommelfell aus geht nun beim Bewußtwerden des Hörens Folgendes vor sich:

Durch den Ton, den Schall, wird das Trommelfell in Vibration gesetzt; dasselbe theilt durch die Kette kleiner Knöchelchen diese Erschütterungen den Flüssigkeiten in dem Labyrinth mit, welche sich dabei hin und her schieben, durch diese Bewegung wahrscheinlich den Gehörnerv, dessen feinste Endfaden in dieser Flüssigkeit schweben, reizen und durch eben diesen Reiz das Bewußtsein „ich höre!“ in uns erwecken. So scheint die Sache zu liegen, allein ganz gewiß ist noch Vieles uns so verborgen, daß wir noch immer trotz der scharfsinnigsten und zum Theile mikroscopischen Untersuchungen unserer besten Anatomen noch immer sagen müssen: es *scheint*.

Die Unregelmäßigkeit der Formen in der Kette kleiner Knöchelchen, welche im Innern des Ohres wirken, so wie die Verschiedenheit der Winkel, unter denen sie an einander stoßen, hindert ihre Wirkung, die von außen kommenden Vibrationen fortzupflanzen, durchaus nicht, falls nur die Basis desjenigen, welches dem Trommelfell gegenüber liegt, mit diesem parallel ist, das ist bei dem Steigbügel, der das ovale Fenster schließt, wirklich der Fall. Die vielen Winkel, welche die Knöchelchen bilden, sollen nach *Savart's* Ansicht den Zweck haben, die Erschütterungen zu brechen und dadurch abzuschwächen, welche durch einen heftigen Schall, z. B. durch einen Kanonenschuß, einen heftigen Donnerschlag hervorgebracht werden. Da ein Kanonenschlag Fensterscheiben zersprengt, so wäre es wohl möglich, daß er ein so zartes Häutchen, wie das Trommelfell oder die Membrane, welche das ovale Fenster schließt, zerreißt. Die Knöchelchen, falls dies ihre Bestimmung ist, was man allerdings noch nicht als ganz gewiß annehmen kann, hätten dann den Dienst zu thun, welchen die Kutschfedern dem Wagen leisten, sie verwandeln den erschütternden Stoß in einen mäßigen Druck.

Die große Gelenkigkeit der Kette von Gehörknöchelchen ist nach den Untersuchungen eines französischen Anatomen *Longet* dazu nöthig, daß der Hammer von dem Trommelfell bewegt werden könne, ohne den Steigbügel von dem ovalen Fenster zu entfernen. Ueber die Function des kleinen Muskels, welcher den Hammer gegen das Trommelfell lehnt, ist man auch noch nicht einig; Einige meinen, er diene dazu, um das Trommelfell in Spannung zu erhalten und so zu verhindern, daß die Feuchtigkeit der Atmosphäre einen erschlaffenden Einfluß darauf habe, Andere meinen wieder, der Hammer werde nur dann gegen das Trommelfell gedrückt, wenn man aufhorcht,

aufpaßt. Dieſe Anſicht ſtimmt mit einer Erfahrung überein, welche man bei großer Aufmerkſamkeit an ſich ſelbſt machen kann und welche wiederholt von Naturforſchern gemacht worden iſt. Wenn man beim Behandeln ſehr kleiner Gegenſtände, z. B. ſolcher, die zu mikroſcopiſchen Beobachtungen dienen ſollen, einen ſolchen — den Kopf einer Fliege, deren Auge man präpariren will, oder Aehnliches — fallen läßt, ſo hört man das Aufſchlagen deſſelben auf den glatten Tiſch mit einer Stärke, welche der Größe des Gegenſtandes gar nicht angemeſſen iſt; dies ſcheint von einem kurzen Schlage des Hammers gegen das Trommelfell herzurühren, welcher hier wirkt, als ob er von außen angeſprochen würde, da doch der Muskel desſelben wahrſcheinlich nicht durch ein wirkliches Geräuſch, ſondern durch den Nerveneinfluß des Gedankens daran hervorgebracht iſt.

Daß übrigens dieſer Muskel des Hammers willkürlich bewegt werden könne, iſt von verſchiedenen Perſonen nachgewieſen worden, ſo wie das Pferd, der Hund ꝛc. die Ohren ſpitzt (um beſſer und leiſer zu hören), ſo macht es auch der Bewohner der Wildniß. Dieſes äußere Ohr ſteht aber mit dem inneren in zu genauer Verbindung, als daß nicht ein Einfluß des einen auf das andere ſtattfinden ſollte, und Perſonen, welche dieſe Fähigkeit das Ohr zu bewegen (gleichſam zu ſpitzen) haben, können im innern ein Geräuſch wahrnehmen, welches nur dieſen Bewegungen der Knöchelchen zugeſchrieben werden kann; daſſelbe iſt übrigens in einzelnen Fällen ſo deutlich, daß ein Anderer, der ſein Ohr an das Ohr desjenigen legt, welcher das ſeinige bewegt, dieſes Geräuſch wirklich hören kann.

Es hat vielleicht damit dieſelbe Bewandtniß wie mit der Veränderung der Form des Augapfels. Das deutliche Sehen für ſehr verſchiedene Entfernungen iſt nur dadurch möglich, daß ſich die Camera obscura des Auges auszieht oder zuſammenſchiebt (wie ein Fernrohr für nahe Gegenſtände auch verlängert, für ferne verkürzt werden muß), welche Längenveränderung hervorgebracht wird durch die Muskeln, die das Auge umgeben. Wahrſcheinlich iſt es mit dem Hören eben ſo; auf die Spannung des Trommelfelles kommt es dabei an, je leiſer der Ton iſt, je ſchwächer die Vibration der Luft, welche er hervorbringt, deſto ſchärfer muß das Trommelfell geſpannt ſein, welches von dieſen leiſen Erſchütterungen angeregt werden ſoll. Möglich, daß der Muskel des Hammers im Ohr nur den Zweck hat, wie die Muskeln um das Auge her, dem Organ diejenige Vorbereitung zu geben, welche zur deutlichſten Wahrnehmung erforderlich und eine von Wallaſton entdeckte Thatſache ſcheint dieſe Annahme zu unterſtützen. Wenn man nämlich Naſe und Mund feſt ſchließt, allenfalls durch Zuhalten mit der Hand, und thut nun ſo, als wollte man die Luft

schneuzen, was natürlich bei zugehaltener Nase nicht angeht, so wird dadurch die Luft in der Mundhöhle stark comprimirt. Nun bildet aber die eustachische Röhre eine Verbindung zwischen der Mundhöhle und der Paukenhöhle des Ohres, sobald man also die Luft in der Mundhöhle verdichtet, so wird eben dieses auch mit der Luft in der Ohrenhöhle geschehen und dadurch das Trommelfell widernatürlich gespannt werden müssen. Die Folge hiervon ist, daß man, so lange der Zustand der Spannung dauert, alle tieferen Töne nicht hört, sehr wohl und sehr leise aber die hohen Töne. Da nun die eustachische Röhre wahrscheinlich dazu dient, die Luft im Innern des Ohres in gleicher Spannung mit der äußeren Luft zu erhalten, so ist eine Spannung des Trommelfelles auf diese Weise nicht möglich, sie wird daher, wo sie nöthig, durch den Druck des Hammers auf das Trommelfell vermöge des öfter berührten Muskels hervorgebracht.

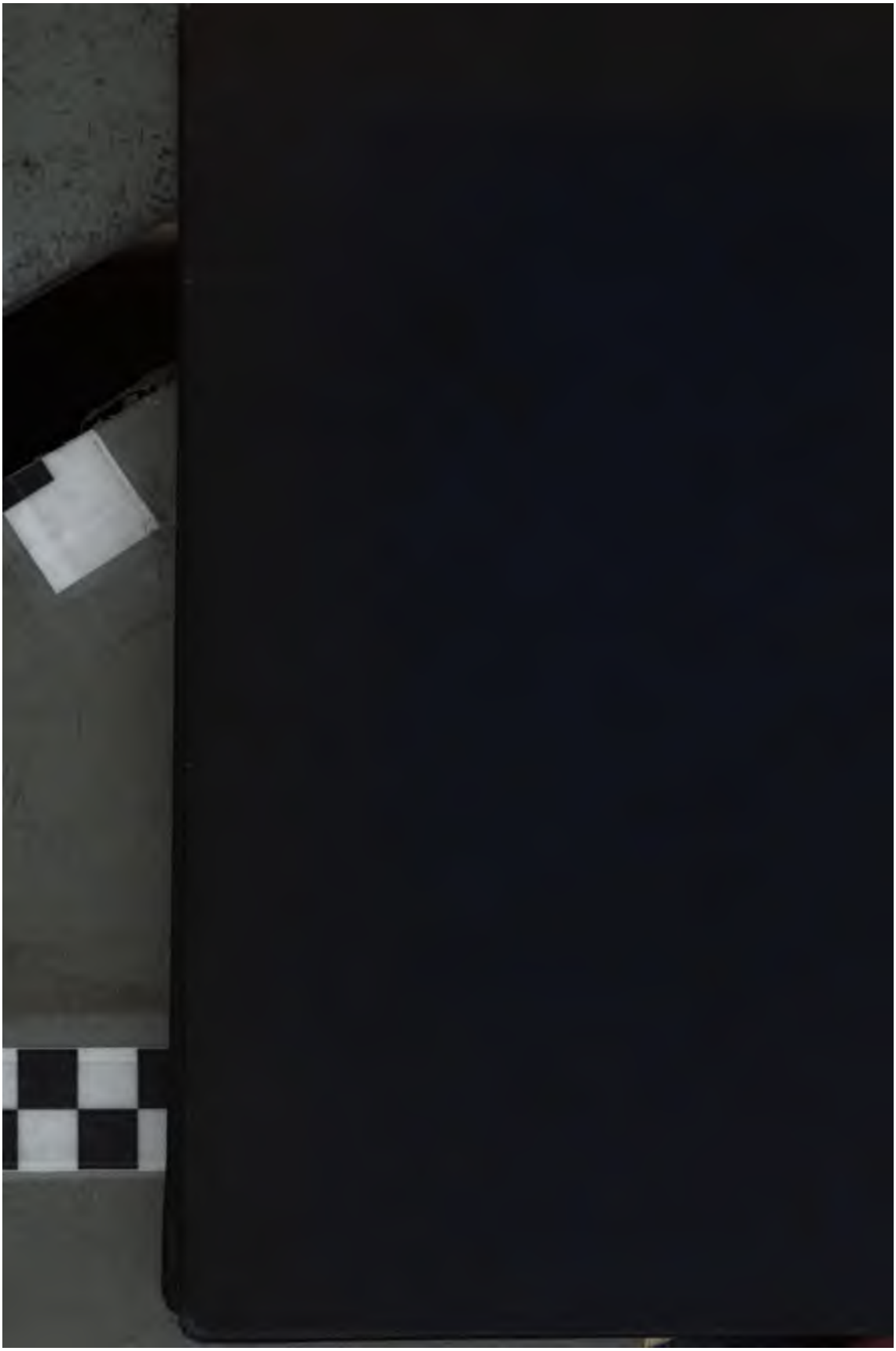
Aus diesen Untersuchungen scheint hervorzugehen, daß, wenn der Hammer nicht am Trommelfell liegt, dies also nicht die nöthige Spannung hat, man eigentlich nicht hört, wenigstens nicht auf dem richtigen Wege, sondern auf dem verkehrten, nicht durch das ovale Fenster und die kleinen Knöchelchen, sondern durch die im Ohre eingeschlossene Luft und das runde Fenster. So hören wir wahrscheinlich im Schlafe, vielleicht auch in dem Zustande mangelnder Aufmerksamkeit, während, sobald etwas zum Hören auffordert, die Spannung des Muskels eintritt und dadurch der Druck auf das Trommelfell, welcher die Spannung desselben bedingt. Daß man hierbei besser hört als auf dem anderen Wege (durch die bloße Mittheilung an die Luft) ist sehr natürlich, da, wie wir bereits wissen, feste Körper den Schall viel besser fortpflanzen als luftförmige.

Für den Fall, daß diese Ansicht richtig, bedürfte es also eigentlich gar nicht des Trommelfells und thatsächlich ist es, daß die Durchbohrung oder Zerreißung des Trommelfelles keineswegs Taubheit, ja nicht einmal Harthörigkeit in ihrem Gefolge hat, sondern höchstens das, was man ein „nicht scharfes Gehör" nennen würde; auch die übrigen Gehörknöchelchen sind zum Hören nicht unbedingt nothwendig, nur der Steigbügel darf nicht fehlen, weil dieser mit dem Häutchen, welches das ovale Fenster schließt, verwachsen ist. Würde derselbe entfernt, so würde dies Häutchen zerreißen und die Flüssigkeiten aus dem Labyrinth und den damit zusammenhängenden Röhren würden ausfließen, damit wäre das Hören so gut unmöglich wie das Sehen, wenn etwa durch eine Verletzung der Hornhaut die wässerige Feuchtigkeit aus den Augen flösse — die Taubheit in einem wie die Blindheit im andern Falle wäre die unausbleibliche Folge.

Alle diese Dinge lassen sich nicht streng beweisen, denn Niemand wird sein Ohr zu Experimenten hergeben, welche ihn taub machen können, allein daß viel Wahres daran sei, geht aus Beobachtungen von solchen Personen hervor, die von Geburt an taub waren und deren Organ man nach ihrem Tode untersuchte. Es fand sich z. B., daß die Gehörknöchelchen und das Trommelfell auf das Vollständigste in Ordnung war, indeß die halbkreisförmigen Canäle oder das Labyrinth trocken lagen, keine Flüssigkeit enthielten. Umgekehrt hat man wieder gefunden, daß die Gehörknöchelchen nicht vollständig oder nicht gehörig an einander gereiht waren, oder daß das Trommelfell gänzlich fehlte bei Personen, die sich in ihrem Leben nicht über Harthörigkeit, viel weniger über Taubheit beklagt hatten. Es scheint demnach thatsächlich zwei Wege für das Hören zu geben, die Schnecke mit dem runden Fenster und der Luft der Paukenhöhle, und die Gehörknöchelchen mit dem ovalen Fenster und den halbkreisförmigen Canälen. Diese Annahme wird dadurch unterstützt, daß weniger vollkommen ausgebildete Thiere nur einen oder den andern Apparat haben. Der amerikanische Spottvogel hat nur eine ganz unvollständige Schnecke und hat doch ein gutes, sogar ein musikalisches Gehör.

Wie alle Sinne, so ist auch das Ohr sehr vielen Täuschungen unterworfen. Man sagt zwar, wenn der Schall von hinten oder von vorn kommt, empfange man denselben so direct, daß man schon aus der mehr oder minderen Stärke die Entfernung beurtheilen könne, daß aber hauptsächlich der gleiche Eindruck, den derselbe auf beide Ohren macht, der sicherste Führer sei, so wie das Hören und Beurtheilen des Gehörten von einer Seite sich auf die ungleichen Eindrücke stütze, welche die beiden Ohren empfangen (viel stärker für das nach der Gegend des Schalles gerichtete Ohr); allein dieses Alles stimmt nicht mit der Praxis, denn es läßt sich durch die Schwäche oder Stärke des Schalles keineswegs die Entfernung beurtheilen, da der Schall selbst ja sehr verschieden an Stärke sein kann; wie leicht aber die Täuschung des Gehörs sei, geht aus dem willigen Glauben hervor, den wir dem Bauchredner schenken, welcher vor unsern Augen seine Künste macht und uns die Ueberzeugung gewährt, er spreche jetzt mit dem Nachtwächter zum Fenster hinaus, worauf dieser von der Straße her antwortet. So weit das physikalische Gebiet des Sinnes reicht, kann die Physik erklären, sobald die Grenze desselben erreicht ist, muß sie an die Physiologie verweisen.

Druck von A. Bahn & Comp. in Berlin, Schleuse 4.

19

BD APR 1 2 1915